

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”  
Теплоенергетичний факультет  
Кафедра автоматизації теплоенергетичних процесів

«На правах рукопису»  
УДК 681.51

«До захисту допущено»  
В.о.завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ / В.А.Волощук/  
“ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

## Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані  
технології”**

зі спеціальності

на тему: Регулювання показників мікроклімату житлової будівлі в умовах  
комбінованої генерації енергії

**Виконав:** студент VI курсу, групи ТО-81мп

Дишлюк Владислав Миколайович

(прізвище ім’я, по батькові)

(підпис)

**Науковий керівник** ст. викл. Штіфзон О.Й.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

**Консультант**

(назва розділу)

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

**Рецензент**

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає  
запозичень з праць інших авторів без відповідних  
посилань.

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського”

Факультет Теплоенергетичний  
Кафедра Автоматизації теплоенергетичних процесів  
Рівень вищої освіти – другий(магістерський) за освітньо-професійною програмою  
Спеціальність 151“Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.завідувача кафедри

\_\_\_\_\_/В.А.Волощук/  
(підпис) (ініціали, прізвище)  
“ “ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**

Дишлюк Владислав Миколайович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема дисертації Регулювання показників мікроклімату  
житлової будівлі в умовах комбінованої генерації енергії

науковий керівник дисертації \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «4» листопада 2019 р. № 3812-с

2. Термін подання студентом дисертації «10» грудня 2019 р.

3. Об’єкт дослідження \_\_\_\_\_

4. Предмет дослідження (вихідні дані для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою)

5. Перелік завдань, які потрібно розробити

6. Орієнтований перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

---



---

7. Орієнтований перелік публікацій

---



---

8. Консультанти розділів дисертації:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання " 04 " вересня 2018 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Видача завдання	04.09.2018	
2	Розділ 1,2. Енергозберігаючі ресурси. Постановка завдання		
3	Розділ 3. Основні рішення з автоматизації		
4	Аркуш 1. Функціональна схема автоматизації		
5	Розділ 4,5. Формулювання вимог та розробка ПТКЗА		
6	Розділ 6. Розрахункова частина		
7	Розділ 7. Технічна реалізація		
9	Розділ 8. Стартап-проект		
11	Підпис керівника магістерської дисертації		
12	Попередній захист магістерської дисертації	10.12.2019	
13	Захист		

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Регулювання показників мікроклімату житлової будівлі в умовах комбінованої генерації енергії – магістерська дисертація: 121с., 44 рис., 15 джерел.

Актуальність теми. Останні десятиліття просліджується стійка тенденція до зростання цін на енергоносії, зокрема вуглеводні, що пов'язано з виснаженням існуючих та зменшенням кількості нових відкритих родовищ. Широко відомі в цьому напрямі теорії, розроблені з ініціативи Римського клубу (неурядовий аналітичний центр, створений у 1970 р.), який ставить на меті розробку і обговорення перспективних проблем світового розвитку. За даними Д. Медоуза, відомі нині запаси корисних копалин будуть вичерпані протягом найближчих десятиріч. Згідно їхніх прогнозів поклади вугілля будуть вичерпані — за 150, нафти — за 50, природного газу — за 49 років. Причому термін вичерпання ресурсів був обчислений виходячи з припущення, що протягом наступних десятиліть розвідані ресурси зростуть в 5 разів у порівнянні з сучасними даними. Тобто будуть розвідані нові поклади, відкриті нові родовища, але, незважаючи, на це, час, коли вичерпаються запаси паливно-енергетичних ресурсів, дуже близький — він приблизно рівний зміні від 2-3 до 5-6 поколінь.

В Україні на житлово-комунальне господарство припадає близько 30% загального споживання енергоресурсів, поряд застарілою матеріальною базою і недосконалістю механізму формування тарифів. Тому закономірним виглядає бажання приватного забудовника зменшити свою залежність від центрального енергопостачання. Перспективним напрямком в цьому випадку є орієнтація на використання енергозберігаючих технологій та альтернативних джерел енергії. Однак відносна їх дороговизна та неможливість повного переходу на автономне забезпечення змушує розробляти системи зі змішаним енергопостачанням. На жаль, в Україні нормативно не врегульоване питання правил проектування та правового забезпечення таких систем.

Мета роботи. Проектування працездатної системи теплопостачання та кондиціонування для будинку котеджного типу, розробка алгоритмічної програми системи автоматизації та достовірної моделі об'єкта для її перевірки.

Об'єкт дослідження. Система теплопостачання та кондиціонування (мікрокліматичні параметри контрольного приміщення)

Предмет дослідження. Розробка алгоритмічної програми для центрального контролера системи. Моделювання системи для аналізу ефективності сумісного використання традиційних і енергозберігаючих технологій.

Метод дослідження. Моделювання перехідних процесів системи теплопостачання і кондиціонування у середовищі програми Matlab; на підставі отриманих кривих аналіз якості функціонування керуючих алгоритмів.

Наукова новизна отриманих результатів. Розроблена модель системи дозволяє здійснювати підбір різноманітних методів управління для їхнього подальшого аналізу. Блочна структура моделі дає змогу легко перебудовувати її згідно вимог проекту.

Практичне значення. Спроектowana система та алгоритмічна програма управління системою автоматизації може бути реалізована в будинках котеджного типу, що задовольняють архітектурно-технічні вимоги проекту.

## THE ABSTRACT

Regulation of the microclimate of a residential building under conditions of combined energy generation - Master dissertation: 121 pages, 44 figures, 15 sources.

The topic actuality. The last decades traced steady upward trend in energy prices, in particular hydrocarbons, which associated with the depletion of existing and decrease the number of new open fields. Widely known in this field theories developed on the initiative of the Club of Rome (Analytical Centre founded in 1970), which aims to develop and discuss possible problems of world development. According D. Medouza, now known mineral reserves will be exhausted within the next decades. According to their forecasts of coal will be exhausted - 150, oil - 50, natural gas - for 49 years. Moreover, the term resource depletion was calculated on the assumption that over the next decades explored resources will increase by 5 times compared with the current data. That will be explored in new deposits, open new fields, but even at this time when stocks run low of fuel and energy resources is very close - it is approximately equal to the change from 2-3 to 5-6 generations.

In Ukraine, housing and communal services account for about 30% of total energy consumption, along outdated material resources and imperfect mechanism for tariff setting. So natural is the desire by private developers to reduce their dependence on central energy supply. A promising direction in this case is the focus on the use of energy-efficient technologies and alternative energy sources. However, their relative high cost and the inability to complete the transition to independent ensuring makes to design systems with mixed power supply. Unfortunately, the Ukraine regulatory issues not regulated design rules and legal support such systems.

Work aim. Designing a workable system for heating and air conditioning cottage type building, developing algorithmic applications of automation and accurate model of the object for its verification.

The object of study. Heating and air conditioning system (the microclimatic parameters of control room)

The subject of the study. Development of algorithmic program for the central controller system. Modeling of system for analyzing the effectiveness of sharing traditional and energy saving technologies.

The method of investigation. Simulation of transient heating and air conditioning systems in the environment program Matlab, on the basis of the analysis of the curves as a function of control algorithms.

Scientific novelty. The model of system allows the selection of different management practices for their further analysis. Block structure of the model makes it easy to rebuild it according to project requirements.

The practical significance. Designed system and algorithmic control program automation system can be implemented in a cottage-type buildings that satisfy architectural and technical requirements of the project.

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ**

ГВП – гаряче-водопостачання;

ПЕР - паливно-енергетичні. ресурси;

ТЕН – теплоелектронагрівач;

САР – система автоматичного регулювання;

ПЛК – програмно-логічний контролер;

ПТКЗА – програмно-технічного комплексу засобів автоматизації;

ПЗ – програмне забезпечення;

SCADA - Supervisory Control And Data Acquisition;

ПК - персональний комп'ютер;

ВК - вимірювальний канал;

ССН - структурних схемах надійності;

РАФХ - розширена амплітудо-фазова характеристика;

АЧХ - амплітудо-фазова характеристика;

РД – реально-диференціальне.



## ЗМІСТ

ВСТУП .....	11
РОЗДІЛ 1. РОЛЬ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ .....	12
РОЗДІЛ 2. ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ .....	18
2.1 Постановка завдання з урахуванням особливостей енергоспоживання в будинках котеджного типу .....	18
2.2 Огляд існуючих рішень з використанням енергозберігаючих технологій .....	18
2.2.1 Концепція енергоефективного будинку .....	18
2.2.2 Дизайн .....	22
2.2.3 Вентиляція і кондиціювання .....	23
2.2.4 Опалення і ГВП .....	24
2.3 Опис обраної системи теплопостачання і кондиціювання .....	29
2.3.1 Кондиціювання .....	29
2.3.2 Опалення .....	32
2.3.3 ГВП .....	33
2.4 Розрахунок економічної доцільності .....	35
2.5 Обґрунтування вибору системи .....	44
РОЗДІЛ 3. ОСНОВНІ РІШЕННЯ ПО АВТОМАТИЗАЦІЇ ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ .....	45
3.1 Дослідження об'єктів керування .....	45
3.1.1 Дослідження водяного калорифера як об'єкта керування .....	45
3.1.2 Дослідження електрокалорифера (ТЕН) як об'єкту керування. ....	46
3.1.3 Дослідження контрольного приміщення як об'єкта керування .....	46
3.2 Опис функцій системи автоматизації .....	49
3.2.1 Технологічний контроль .....	50
3.2.1.1 Засоби вимірювання температури .....	50
3.2.1.2 Засоби вимірювання вологості. ....	51
3.2.1.3 Засоби вимірювання перепаду тиску, швидкості і витрати .....	51
3.2.1.4 Засоби вимірювання рівня .....	52

3.3 Автоматичне регулювання та управління .....	52
3.4 Живлення приладів та засобів автоматизації .....	53
РОЗДІЛ 4. ФОРМУЛЮВАННЯ ВИМОГ ДО ПТКЗА .....	55
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ПТКЗА.....	58
РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	63
6.1 Розрахунок вимірювальних каналів САР .....	63
6.2 Розрахунок надійності функціонування САР. ....	64
6.2.1 Структурні схеми надійності. ....	64
6.2.2 Розрахунок надійності реалізації функцій АСР .....	65
6.2.3 Розрахунок інформаційної функції. ....	67
6.2.4 Розрахунок регулюючої функції. ....	67
6.3 Розрахунок динаміки САР. Розрахунок перехідної приміщення. ....	68
6.4 Розрахунок налаштувань регулятора.....	70
РОЗДІЛ 7 ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ .....	86
7.1 Опис функцій системи автоматизації .....	86
7.1.1 Кондиціонування.....	86
7.1.2 Опалення .....	92
7.1.3 ГВП .....	94
7.3 Опис імітаційної моделі системи. ....	95
РОЗДІЛ 8 РОЗРОБКА СТАРТАПУ .....	111
8.1 Резюме стартап - проекту .....	111
8.2 Організаційний план .....	112
8.3 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту .....	113
8.4 Фінансовий план.....	116
8.5 Юридичний план .....	118
8.6 Оцінка ризиків проекту .....	119
ВИСНОВОК.....	120
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	122

## ВСТУП

В світлі постійного зростання світових цін на вуглеводні все більше уваги при будівництві житла приділяється використанню сучасних будівельних та ізоляційних матеріалів, ергономічного дизайну будівлі та новітніх технологій в галузі енергозбереження для зменшення витрат на енергоносії. Особливо активно дана тенденція відслідковується в будівництві котеджних містечок в агломерації великих міст. Активно починають застосовуватись альтернативні джерела енергії, як сонячної, вітру, акумульована енергія землі і підземних вод. Однак, необхідно враховувати ряд чинників, таких як:

- Відносно більша вартість придбання і встановлення енергозберігаючих технологій порівняно з традиційними;
- Неможливість стабільної генерації енергії незалежно від зовнішніх збурень (наприклад, залежність сонячного колектора від рівня освітленості);
- Неврегульовані правові і нормативні питання даної області в Україні.

Ці, та інші причини накладають обмеження на використання енергозберігаючих технологій в приватному житловому секторі і змушують шукати інших шляхів вирішення проблеми, зокрема комплексне використання традиційних і альтернативних джерел енергії для забезпечення енергоефективної і водночас стабільної системи теплопостачання.

Метою даної магістерської дисертації є проектування, моделювання системи опалення, ГВП і кондиціонування в житловому будинку котеджного типу, яка б повністю задовольняла вимоги по теплопостачанню, була екологічно чистою та давала достатню автономію від централізованої системи енергопостачання, а також аналіз її роботи з точки зору сумісного використання традиційних та альтернативних джерел енергії.

## **РОЗДІЛ 1.**

### **РОЛЬ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ**

Обмеження енергетичних ресурсів та їх неекономного використання з кожним роком набувають все більшої уваги. У світі виконуються активні дії для зменшення впливу негативно людини на планету, підвищення ефективності використання ресурсів та пошуку нових, більш ефективних джерел енергії. Незважаючи на зусилля спільноти з популяризації енергоефективності та нетрадиційних джерел енергії, більша частина економіки світу досі працює на викопних енергоносіях.

В умовах складної політичної та економічної ситуації, постає питання підвищення енергоефективності та розвитку відновлюваної енергетики, проблеми високого рівня енергоспоживання є надзвичайно актуальним для України. Крім того, однією із проблем є нерозуміння громадянами, що треба скорочення споживання енергії.

Забезпечення достатнього рівня економічної безпеки є необхідною умовою стабільного розвитку будь-якої країни. В економічній науці поки що немає одностайного визначення категорії «економічна безпека держави». У Концепції економічної безпеки розглядається як «спроможність національної економіки отримувати свій незалежний, вільний розвиток і утримувати стабільність громадянського суспільства та його інститутів, а також оборонний потенціал держави при різних варіантів розвитку подій і несприятливих умов, здатність України до захисту національних економічних інтересів від внутрішніх і зовнішніх загроз».



Рис. 1.1 Основні причини втрати енергії

Поновлювальні та нетрадиційні джерела енергії – джерела, що періодично з’являються чи постійно існують в навколишньому природному середовищі у вигляді потоків енергії Сонця, вітру, тепла Землі, енергії морів, океанів, річок, біомаси (рис. 1.2).

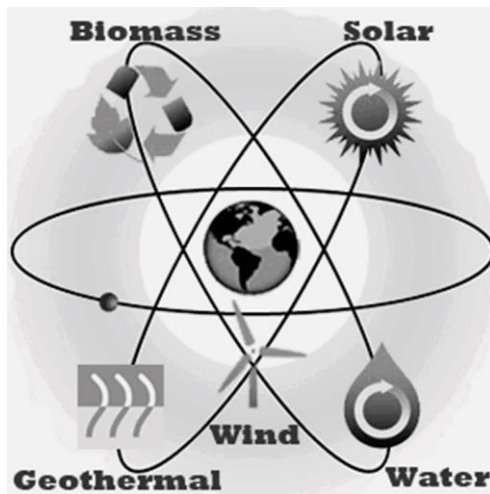


Рис. 1.2 Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії

Енергозберігаюча технологія – це метод виробництва продукції з раціональним використанням енергії, який дозволяє одночасно зменшити кількість енергетичних відходів, одержуваних під час виробництва та експлуатації виготовленого продукту та енергетичне навантаження на навколишнє природне середовище.

Енергозберігаючі (енергоефективні) заходи – це заходи, спрямовані на впровадження та виробництво енергоефективних продукції, технологій та обладнання (рис. 1.3).



Рис. 1.3 Енергозберігаючі технології

Прикладом успішного застосування енергоефективних технологій є країни Європейського Союзу. В ЄС вдало поєднувати збереження екологічної безпеки довкілля зі принципами сталого економічного розвитку. Було складена

програма зменшення на 20 % викидів парникових газів та питомих витрат енергоресурсів на одиницю продукції ВВП. Передбачено також збільшити частку поновлювальних джерел енергії на 20 відсотків в енергетичному балансі кожної країни.

Найбільш розвинені країни вже перевиконують планові показники. Данія планує одержувати шість десятків відсотків електроенергії з ПДЕ, а Німеччина та Австрія – 40–50 відсотків. Цьому може сприяти заохочення споживачів до ощадливого використання енергоресурсів та багатоступенева система законодавчого регулювання.

Потужний розвиток у Німеччині отримала технологія біогазу, для отримання якого використовують залишки тваринного та рослинного походження.

Також вдалим прикладом виробництва електроенергії з біогазу є Чехія. Обсяги його виробництва досягли 2243 ГВт/год. Чехія має понад 500 біогазових станцій, яка займає п'яте місце в Європі, де встановлено 13800 подібних установок. Найбільше їх у Німеччині, Італії, Швейцарії та Франції. Одну з таких станцій встановлено в м. Скотцу. Вона призначена для передачі виробленого газу в загальну систему газопроводу. Щорічно планується виробляти 3 млн куб. метрів біогазу. Для виробництва використовується відходи цукроварні, силос кукурудзи, сировина від приватних господарств.

Енергоефективність сьогодні актуальна, як ніколи раніше, який сприяє досягненню основних 3 цілей енергетичної політики:

- підвищенню енергетичної безпеки;
- зниженню шкідливої екологічної дії внаслідок використання енергоресурсів;
- підвищенню конкурентоспроможності підприємств.

Україна має високу енергоємність ВВП, тобто економіка країни є надзвичайно енергозатратно. В індустріальному секторі поступово

впроваджують енергоефективні технології, а у житловому цей процес залишається майже без змін.

Нашій країні необхідно докласти більше зусиль, щоб пом'якшити різке підвищення тарифів на комунальні послуги для населення та зменшити залежність від імпортованих дорогих енергоресурсів для підвищення економічної безпеки. Сьогодні в Україні проводяться активні заходи в цьому напрямку.

Реалізація розробленого Держенергоефективністю України механізму надасть населенню скоротити споживання енергетичних ресурсів в своїх оселях до 50 відсотках. Інвестори з закордону активно посилюють співпрацю з Україною щодо розвитку поновлювальних джерел енергії. Зокрема, компанія «2ZK» та з представником компанії “Трафікон” Наумом Рікшпуном було презентовано проект “Біотепло 100”, який є колективною ініціативою галузевих компаній зі створення в Україні інфраструктури для забезпечення та вирощування постачання біомаси на довгостроковій основі. Презентуючи проект “Біотепло 100”, представник компанії :Трафікон: Наум Рікшпун зазначив, що станом на сьогодні вже залучені міжнародні та українські учасники проекту, а також була розроблена концепція впровадження ініціативи, листи підтримки отримані від багатьох державних організацій та галузевих асоціацій, ведуться переговори з такими міжнародними донорськими та інвестиційними організаціями, як USAID, НЕФКО, DCIF (Датський фонд кліматичних інвестицій), ЄБРР та інші (рис. 1.4). Планується створити регіональні центри біомаси, які стануть ланцюгом між виробниками та споживачами. Перші проекти передбачається реалізувати у Чернігівській, Вінницькій, Рівненській та Чернігівській областях.



## Як ЄС сприяє впровадженню заходів з енергоефективності в Україні?



Рис. 1.4 Впровадження енергоефективних заходів в Україні

За оцінками Міжнародного агентства з поновлювальної енергетики IRENA, якщо Україна докладе максимум зусиль у питанні використання енергоефективних технологій, то вже у 2030-му році частка енергії з відновлювальних джерел в кінцевому енергоспоживанні може становити щонайменше 21 відсотків. Експерти передбачають, що 72 відсотків енергії з відновлювальних джерел використовуватиметься для вироблення тепла, 20 % – для генерації електроенергії, а 8 % – у транспортному секторі, найбільш перспективним напрямком поновлювальної енергетики стане розвиток біоенергетики.

Питання економічного використання ПЕР, використання енергозберігаючих технологій, заміщення газу альтернативними видами палива стали пріоритетними завданнями в забезпеченні економічної безпеки та потребують вирішення негайно.

## **РОЗДІЛ 2. ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ**

### **2.1 Постановка завдання з урахуванням особливостей енергоспоживання в будинках котеджного типу**

Об'єктом автоматизації є двоповерховий будинок котеджного типу загальною площею близько 500м<sup>2</sup> (детальний опис будівлі наведено в розділі 2.4.). Технічним завданням поставлено розробка, проектування та створення робочої моделі системи теплозабезпечення і кондиціонування будинку.

При проектуванні котеджного будинку перш за все вирішується питання його енергозабезпечення: підведення газу, води, електроенергії. Найбільші складності виникають з підведенням газу при необхідності відведення окремої вітки від магістралі – разом з високою ціною прокладання газової труби, доволі затратним є і документний супровід. Тому однією з суттєвих особливостей задачі є той факт, що в будинку відсутнє газопостачання, а отже створення системи на базі газового котла неможливе.

До системи, що створюється перш за все висуваються вимоги стабільності її роботи при відносно невеликих експлуатаційних затратах. Також висуваються високі вимоги до екологічної безпеки. Орієнтовним напрямком є використання сучасних енергозберігаючих технологій та джерел альтернативної енергії.

### **2.2 Огляд існуючих рішень з використанням енергозберігаючих технологій**

#### **2.2.1 Концепція енергоефективного будинку**

Поняття «енергоефективного будинку» охоплює різні види енергозберігаючих типів будинків. У цілому нові, а також старі будинки після реконструкції називають енергозберігаючими, якщо вони мають найкращі показники енергоспоживання, ніж на даний момент встановлені будівельними нормами та законодавством тієї чи іншої країни мінімальні вимоги. Однак у багатьох країнах актуальні будівельні норми мають дуже занижені стандарти, і

це негативно впливає на методику їх оцінки. Адже, згідно даної логіки, наприклад, всі будівлі в Україні з теплоізоляцією в 5 см вже повинні були б називатися енергозберігаючими тому, що будівельні актуальні норми не відповідають сучасним вимогам. В своїй більшості всесвітні організації сходяться на думці, що енергозберігаючий будинок не повинен перевищувати рівень енергоспоживання в 70 кВт год / м<sup>2</sup> на рік.

В Європі є така класифікація будівель в залежності від їх рівня енергоспоживання:

- “Старий будинок” (побудовані до 1970 року), що вимагають для свого опалення близько 300 кВт год / м<sup>2</sup> на рік.
- “Новий будинок” (будувалися з 1970-х до 2000-го року) - не більше 150 кВт год/м<sup>2</sup> на рік.
- “Будівля низького споживання енергії” (з 2002-го року в Європі не дозволяють будівництво будинків нижчого стандарту) - не більше 60 кВт год / м<sup>2</sup> рік.
- «Пасивний будинок» - не більше 15 кВт год / м<sup>2</sup> рік.
- “Будівля нульової енергії” (будівля, що має той же стандарт, що і пасивний будинок, але на відміну від пасивного інженерно оснащено таким чином, щоб споживати виключно тільки ту енергію, яку саме й виробляє) - 0 кВт год / м<sup>2</sup> рік.
- “Будівля плюс енергії” чи “активний дім” (будинок, яка за допомогою встановленого на ньому інженерного обладнання: сонячних батарей, теплових насосів, колекторів, рекуператорів, ґрунтових теплообмінників виробляло б більше енергії, ніж саме споживало).
- Нижче наведені декілька поширених європейських стандартів енергоефективного будинку.

### **Швейцарський стандарт «міненергії»**

Стандарт “мінімум енергії”, наприклад, передбачає для багатоповерхової будівлі розрахунковий показник споживання опалювальної енергії, теплої води та електричної вентиляції в розмірі 38 кВт год / м<sup>2</sup> на рік, вимоги до споживання первинної енергії  $Q_h \leq 90\%$ , а також обов’язкове використання контрольованої вентиляції з рекуперацією тепла.

### **Ефективний будинок за стандартом KfW (КфВ-стандарт).**

На даний момент найпоширеніші типи енергозберігаючих будинків у Німеччині - це будинку за стандартом КфВ-70 і КфВ-55. Цифра “55” в назві стандарту означає максимальне допустиме значення втрат тепла при теплопередачі (НТ) і річного споживання первинної енергії (Q<sub>p</sub>) такого будинку становлять лише 55 відсотків від мінімальних показників, встановлених німецьким актуальним розпорядженням про енергозбереження. Крім того, річне споживання первинної енергії такого будинку не повинно перевищувати 40 кВт год / м<sup>2</sup> корисної площі будівлі (AN).

Аналогічно можна провести розрахунок і за стандартом КфВ-70. Цей стандарт дотримується правила 70 відсотків щодо показників НТ і Q<sub>p</sub>, а також передбачає максимальний рівень річного споживання первинної енергії 60 кВт год / м<sup>2</sup> корисної площі будівлі (AN).

## Пасивний будинок

Один з типів енергозберігаючих будинків, який має незмінні стабільні параметри по всій Європі, є пасивний будинок. Для нього є характерне низьке енергоспоживання на рівні 15 кВт год / м<sup>2</sup> на рік. Пасивний будинок - це чітко регульована і суворо контрольована будівельна норма. Для пасивного будинку були встановлені один раз і назавжди показники для всіх будівельних конструкцій цього типу Інститутом пасивного будинку в м. Дармштадт і професором Файстом (один з винахідників технології пасивний будинок). Пасивним будинком можна називати ті тільки будинки, які відповідають наступним вимогам:

- Оболонка будинку з підвищеною теплоізоляцією  $U < 0,15 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \text{ К})$
- Запобігання наявності містків холоду;
- Компактна форма будівельної споруди;
- Використання пасивно сонячної енергії завдяки орієнтації будівлі на південь і відсутності затінення;
- Коефіцієнтом теплопередачі вікна  $UW < 0,8 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \text{ К})$ ; Кращі склопакети зі спеціальними профілями і коефіцієнтом енергопроникності g-Wert близько 50%;
- Герметичність будинку на рівні  $n_{50} < 0,6 / \text{рік}$ ;
- Рекуперація тепла з відпрацьованого повітря, рівень повернення тепла  $> 75\%$ ;
- Високоефективні пристрої з економії електроенергії для домашнього господарства;
- Підігрів води за допомогою сонячних колекторів або теплового насоса;
- Пасивний підігрів повітря за допомогою, наприклад, ґрунтового теплообмінника.

### 2.2.2 Дизайн

Енергоефективний будинок проектується таким чином, щоб не активно (за допомогою інженерного обладнання та використання енергоресурсів), а пасивно (тобто за допомогою архітектурно-планувального рішення) поглинати, акумулювати і зберігати максимальну кількість тепла (а влітку - холоду) з навколишнього середовища. Це досягається за допомогою відповідного архітектурного проектування, яке забезпечує потрапляння всередину будівлі максимальної кількості зимового сонця, захист від перегріву влітку, максимум довге збереження отриманого тепла (чи холоду) за допомогою якісної теплоізоляції та відповідного просторово-планувального рішення (що базується на принципі зонування). При цьому важливі:

- правильна орієнтація будівлі по сторонах світу,
- компактність будівлі,
- якісна теплоізоляція огорожувальних конструкцій,
- наявність масивних частин (для забезпечення акумуляції тепла) у місцях, куди потрапляють прямі сонячні промені від низького зимового сонця,
- планування неглибоких приміщень, в яких низьке сонце потрапляло б на задню масивну (бажано темну) стіну, прогріваючи її,
- використання тромб-стін,
- розміщення зимових садів з півдня,
- використання буферних зон з півночі (допоміжні приміщення),
- вітрозахист північної глухої частини будівлі, її закритість (зелені насадження, ліс, іншу будівлю),
- відкритість з півдня (відсутність затінення),
- правильне скління будівлі,

- розташування максимальної кількості прозорих конструкцій, які пропускали б в будівлю промені низького зимового сонця, повна їх відсутність з північної сторони,
- пасивний захист від літнього перегріву,
- використання підземних каналів для пасивного попереднього підігріву (охолодження) повітря чи води,
- максимальна герметичність і повітрозахищеність будівлі.

За рахунок перерахованих вище прийомів пасивним методом економиться до 50% енергії. Додаткова енергія може заощаджуватися вже активно - за допомогою відповідного інженерного обладнання.

### **2.2.3 Вентиляція і кондиціювання**

У будинках вентиляція здійснюється за рахунок руху повітря, яке зазвичай проникає в приміщення через спеціальні отвори у вікнах і видаляється пасивними вентиляційними системами, розташованими в санвузлах і кухнях.

У енергоефективних будівлях використовується більш складна система: замість вікон з відкритими отворами використовуються звукоізолюючі герметичні склопакети, а припливно-витяжна вентиляція приміщень здійснюється централізовано через установку рекуперації тепла. Додаткового для підвищення енергоефективності можна домогтися коли повітря виходить з дому і надходить у нього через підземний повітропровід. Зимом холодне повітря входить в підземний повітропровід, нагрівається там за рахунок тепла землі, і потім надходить в рекуператор. У рекуператорі відпрацьоване домашнє повітря нагріває вхідне свіже та виводиться назовні. Підігріте свіже повітря, що надходить в будинок, вже в результаті має температуру близько 17 °С.

Літом гаряче повітря, яке надходить в підземний повітропровід, охолоджується там від контакту з землею приблизно до цієї ж температури. За

рахунок такої системи в будинку постійно підтримуються комфортні умови. Лише деколи буває необхідно використання кондиціонерів (тепловий насос) або малопотужних нагрівачів для мінімального регулювання температури.

#### **2.2.4 Опалення і ГВП**

Нижче наведено короткий огляд найбільш поширених систем теплогенерації:

В світову практику будівництва енергоефективних будинків ввійшло правило використання теплових насосів для теплозабезпечення будівель. Принцип роботи теплового насоса заснований на відомому циклі Карно. Внутрішній контур теплових насосів складається з наступних компонентів: конденсатор, капіляр, випарник, компресор, що працює від електричної мережі (рис. 2.1).

Під високим тиском холодоагент через капілярний отвір попадає у випарник, потім за рахунок зменшення тиску різко відбувається процес випару. При тому холодоагент відбирає тепло у внутрішніх стінок випарника, а він (випарник) у свою чергу віднімає тепло від земляного або водяного контуру, за рахунок чого він постійно охолоджується. Компресор вбирає холодоагент із випарника, стискаючи його, за рахунок чого температура холодоагенту різко зростає й виштовхує в конденсатор. У конденсаторі холодоагент, нагрітий у результаті стиску віддає тепло (температура порядку 85-125 \*C) опалювальному контуру й переходить в рідкий стан. Процес так повторюється весь час. Коли в будинку температура сягає необхідного рівня, електричне коло розривається терморегулятором і потім тепловий насос перестає працювати. Коли температура в опалювальному контурі падає, терморегулятор знову запускає тепловий насос. У такий спосіб холодоагент у тепловому насосі робить зворотний цикл Карно.



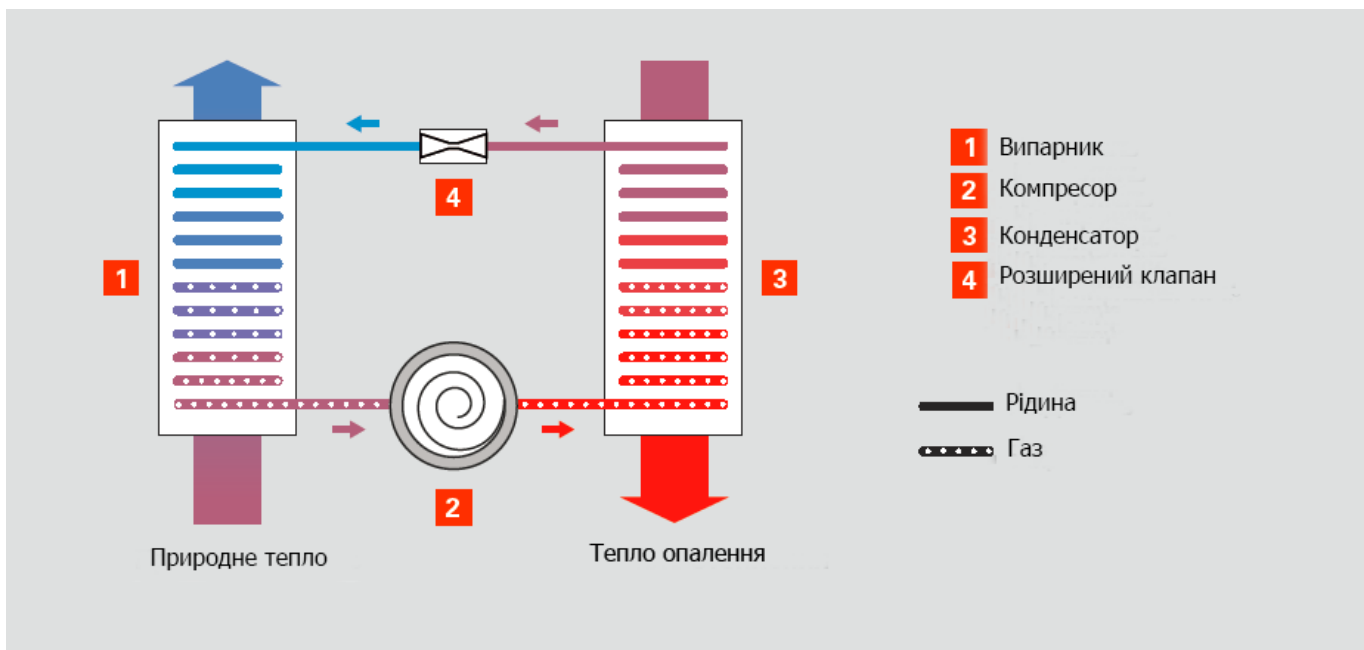


Рис 2.1. Функціональна схема теплового насосу.

Залежно від принципу роботи ТП поділяють на компресійні та абсорбційні. Компресійні ТП завжди діють за допомогою механічної енергії (електроенергії), в той час як абсорбційні ТП також можуть працювати на теплі в якості джерела енергії (за допомогою електроенергії чи палива).

В залежності від джерела відбору тепла теплові насоси поділяються на:

1. Геотермальні (використовують тепло землі, наземних або підземних ґрунтових вод)

а) замкнутого типу

- горизонтальні:

Розміщується колектор кільцями чи хвилясто у горизонтальних траншеях нижче глибини промерзання ґрунту. Цей спосіб є найбільш економічно та ефективним для жилих об'єктів за умови відсутності дефіциту земельної площі під контур.

- вертикальні:

Колектор розміщується вертикально у свердловини глибиною до 200 м. Цей спосіб застосовують у випадку, коли площа земельної ділянки не дає змогу розмістити контур горизонтально чи є загроза пошкодження ландшафту.

- водні:

Колектор розміщується кільцями або хвилясто у водоймі (озеро, ставок, річку) нижче глибини промерзання. Це мабуть найдешевший варіант, але є вимоги до об'єму води у водоймі та мінімальної глибини для певного регіону.

#### б) відкритого типу:

В якості теплообмінної рідини така система використовує воду, що циркулює через систему геотермального ТП в рамках відкритого циклу, тобто вода після проходження системою повертається назад у землю. Це можливо реалізувати на практиці лише коли є наявності достатня кількість відносно чистої води та за умови, що спосіб використання ґрунтових вод є дозволеним.

2. Повітряні (джерелом відбору тепла є повітря)
3. Такі, що використовують вторинне тепло (наприклад, тепло трубопроводу центрального опалення). Цей варіант є найдоцільнішим для промислових об'єктів, де є джерела паразитного тепла, яке потребує утилізації.

Порівняно з іншими тепло генеруючими установками тепловий насос вирізняється економічністю, екологічністю, безпекою експлуатації та широким спектром застосування.

Для опалення будівель також використовуються когенераційні та тригенераційні установки. З огляду на невеликий ККД конденсаційних електростанцій було розроблена ідея про створення децентралізованих когенераційних установок, а саме виробництво електричної та теплової енергії відбувається порівняно у невеликих блочних модулях, які встановлені

безпосередньо близько від споживача. Завдяки цьому втрати тепла та електричного струму під час транспортування мінімізуються. Коефіцієнт використання енергоресурсів зростає більше ніж на 60 відсотків, а вартість теплової енергії та електричної, яка виробляється КГУ, значно нижча порівняно з «великою» енергетикою.

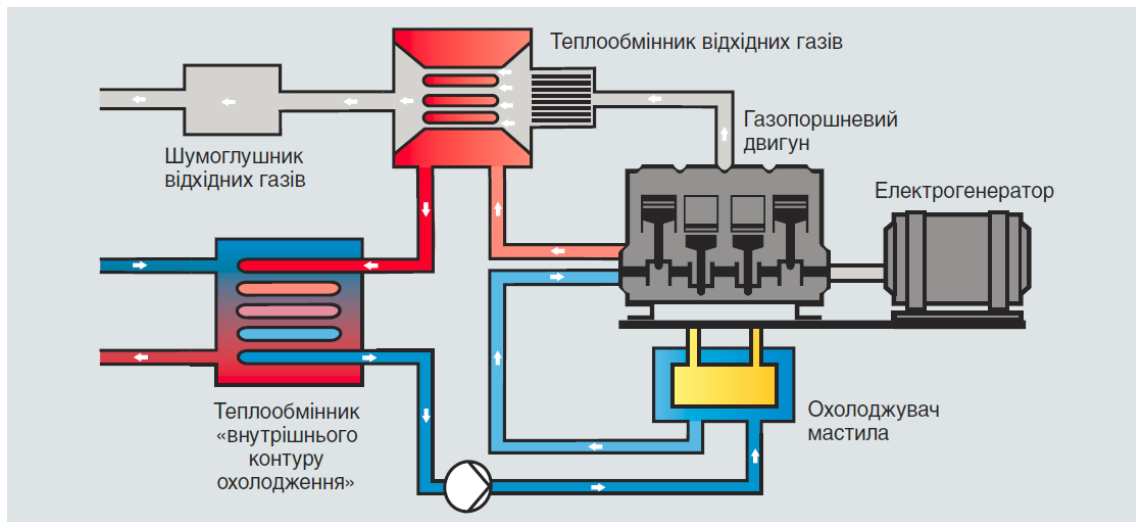


Рис 2.2 Функціональна схема когенераційного модуля

Когенераційні установки мають змогу працювати на різноманітних джерелах енергії – від традиційного природного газу і бензину до біопалива і тирси. При цьому необхідно враховувати затрати на транспортування палива, що у випадку з твердим паливом є значною статтею витрат. Водночас можливе використання даних установок і для генерації холоду (тригенерація).

Для обігріву великих складських приміщень використовують інфрачервоні нагрівальні панелі, що однак не знайшли застосування в житловому секторі.

Україна знаходиться в помірному кліматичному поясі Землі. Середня кількість сонячної енергії становить 1200 КВт год/м<sup>2</sup> год., що дає змогу застосовувати сонячні колектори для генерації тепла в системах тепlopостачання.

Зазвичай дані установки використовують або як допоміжні в системі опалення, або як основні в системі ГВП. В останніх вони заміщують близько 60-70% теплової енергії.

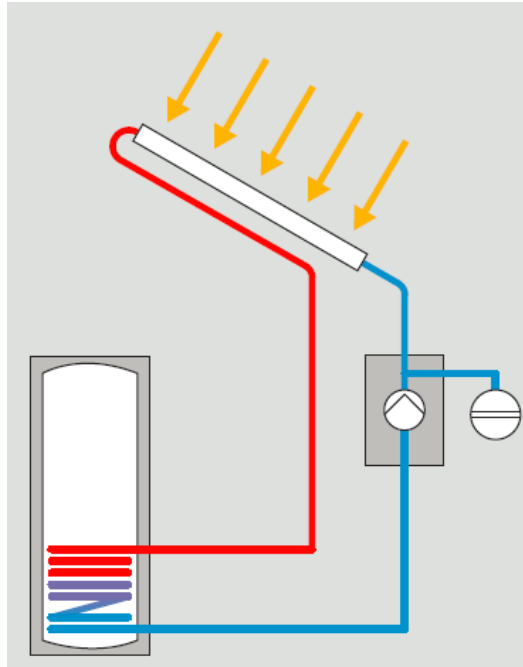


Рис2.3 Функціональна схема сонячного колектора.

Принцип роботи сонячних колекторів дуже простий. Сонячна енергія накопичується у колекторі (що складається з мідних приварених труб до пластини із теплопоглинаючим спеціальним покриттям) і нагріває робочу рідину. При зростанні температури насоси направляють нагріту рідину в теплообмінник бойлера, де рідина від сонячних колекторів віддає своє тепло воді, і, охолоджуючись, повертається назад до колектор.

Також існують різноманітні енергозберігаючі установки, що орієнтуються на особливості клімату та рельєфу місцевості, в яких розташована будівля, як, наприклад, геотермальні джерела та інші.

## **2.3 Опис обраної системи теплопостачання і кондиціонування**

Структурно обрана схема поділяється на три підсистеми:

- Кондиціонування;
- опалення;
- ГВП

### **2.3.1 Кондиціонування**

Система кондиціонування організована на базі центрального кондиціонера з рекуператором. Підготовка повітря відбувається в двох основних режимах – зимовому або літньому.

В зимовому режимі нагрів повітря здійснюється за допомогою водяного нагрівача, що відбирає теплоту з акумуляторного бака системи опалення. Вологість повітря підтримується парогенератором.

В літньому режимі охолодження і осушення повітря здійснюється водяним охолоджувачем. Нагрів повітря здійснює електрокалорифером. Вибір електрокалорифера аргументований тим, що дана система проектується як навчальна і для ознайомлення.

Табл.2.1.Технічні характеристики обладнання системи кондиціонування

Тип	Модель	Опис	
		Характеристика	Значення
Вентилятор каналний	KE 40-20- 4	Розміри	502*440*240
		Електроживлення	230В/50Гц/1Ф
		Виробнича потужність	До 900м.куб/год
		Потужність	248Вт
		Частота обертання	1050 1/хв
		Вага	13,8кг
		Клас захисту	IP44
Водяний калорифер	VBC 200- 2	Розміри	200*253*380
		$\Delta T$ (60/40)	17.3°C
		Витрата повітря	0.15м <sup>3</sup> /год
		Потужність	3.5КВт
		Витрата води	0.4 л/с
		Вага	23,7кг
Охолоджувач	CWK 200- 3	Розміри	441*330*356
		$\Delta T$ (10/20)	11.6°C
		Витрата повітря	555 м <sup>3</sup> /год
		Потужність	3.1КВт

		Витрата води	0.12 л/с
		Вага	21,7кг
Електрокалорифер	ПНЕ-10	Розміри	126*166*206
		Електроживлення	380В/50Гц/3Ф
		Температура на поверхності ТЕН	До 240°C
		Потужність	5кВтВт
		Витрата повітря	До 800м <sup>3</sup> /год
		Вага	4.9кг
		Клас захисту	IP44
Парогенератор	HumiFog UA200	Розміри	1300*400*860
		Електроживлення	230В/50Гц/1Ф
		Виробнича потужність	До 200 кг/год
		Потужність	1КВт
		Витрата повітря	До 700м <sup>3</sup> /год
		Вага	85кг
		Клас захисту	IP20

### 2.3.2 Опалення

Центральною частиною системи є бак, в якому акумулюється енергія від теплового насосу. В бак вбудований трьохсекційний ТЕН для догріву води. Ємність баку виходячи з розрахованих тепловтрат будівлі і обраних нагрівальних елементів становить близько 2т води. Система теплопостачання в баку закрита. З нього відбирається теплота для всіх підсистем:

- на нагрів повітря в системі кондиціонування в зимовому режимі;
- на підігрів води в баку ГВП в нічний час;
- на теплозабезпечення теплої підлоги.

Табл.2.2 Технічні характеристики обладнання системи опалення

Тип	Модель	Опис	
		Характеристика	Значення
Тепловий насос	Vitocal 300 BW220	Розміри	650*780*1245
		Електроживлення	380В/50Гц/3Ф
		Виробнича потужність (тепло/хол. генерація)	21.6Вт/16.8
		Потужність живлення	4.8кВт
		COP	4.49
		Вага	280кг
		Клас захисту	IP20



ТЕН	3*ТЕНФ 3.3	Потужність	3.3кВт
		Загальна довжина	2м
		Діаметр	10мм
		Живлення	230В/50Гц/1Ф
		Питомий тепловий потік	15Вт/см <sup>2</sup>
		Максимальна температура середовища	650°C
		Середовище	Вода
Циркуляційний насос	Wilo TOP-Z 40/7 DM PN10	Розміри	250*274*202
		Електроживлення	380В/50Гц/3Ф
		Виробнича потужність	До 16м <sup>3</sup> /год
		Потужність живлення	1кВт
		Здвоєний насос	+
		Вага	14кг
		Клас захисту	IP54

### 2.3.3 ГВП

Основним джерелом тепла являється сонячний колектор, що гріє воду в баку ГВП в світлу пору доби. Додатковий нагрів відбувається за допомогою ТЕН. В нічну порі здійснюється відбір теплоти з системи опалення.

Табл. 2.3 Технічні характеристики обладнання системи ГВП

Тип	Модель	Опис	
		Характеристика	Значення
Сонячний колектор	Vitosol 200F	Розміри	2570*2040*116
		Площа поглинача	4.6кв.м.
		Оптичний ККД	81.9%
		Теплоємність	6.4кДж/(м²*К)
		COP	4.49
		Вага	105кг
		Об'єм теплоносія	4.2 л
ТЕН	ТЕНФ 3.3	Потужність	3.3кВт
		Загальна довжина	2м
		Діаметр	10мм
		Живлення	230В/50Гц/1Ф
		Питомий тепловий потік	15Вт/см²
		Максимальна температура середовища	650°C
		Середовище	Вода
Циркуляційний насос	Wilo TOP-SD 30/5 EM	Розміри	250*274*202
		Електроживлення	230В/50Гц/1Ф
		Виробнича потужність	До 10м³/год
		Потужність живлення	0.5кВт

		Здвоєний насос	+
		Вага	10кг
		Клас захисту	IP54

## 2.4 Розрахунок економічної доцільності

Розрахунок економічної доцільності складеної схеми (ТН+СК+ЕК) в порівнянні з класичною системою на основі газового котла.

Для порівняння економічності систем на основі теплового насоса, розрахуємо, згідно проектних даних необхідну загальну потужність теплогенеруючого обладнання та проведемо його порівняльний аналіз.

Табл.2.4 Вхідні дані для розрахунку тепловтрат будинку

1. Опалювальний період	
1.1. Тривалість опалювального періоду	$z_{ht} = 176$ діб
1.2. Середня температура повітря в приміщенні за період	$t_{jnt} = 20^{\circ}\text{C}$
1.3. Середня температура зовнішнього повітря за період	$t_{ht} = -0,6^{\circ}\text{C}$
1.4. Розрахункова температура зовнішнього повітря	$t_{ext} = -25^{\circ}\text{C}$
1.5. Середня за період швидкість вітру	$v = 2,8$ м/с
2. Будівля	

2.1. Кількість поверхів в будівлі	$N = 2$
2.2. Кількість секцій	$N' = 2$
2.3. Кількість кімнат в будинку	$K_{\text{кв}} = 15$
2.4. Будівельний об'єм опалювальної частини будівлі	$V_h = 768 \text{ м}^3$
2.5. Загальна площа	$A_s = 512 \text{ м}^2$
2.6. Площа кімнат без літніх приміщень	$A_h = 463 \text{ м}^2$
2.7. Площа житлових кімнат в квартирах будинку	$A_r = 375 \text{ м}^2$
2.8. Площа підлоги кухні	$A_{\text{кух}} = 24 \text{ м}^2$
2.9. Розрахункове число жителів	$n = 10$
2.10. Висота будівлі	$H = 10 \text{ м}$
2.11. Висота поверху	$h = 3 \text{ м}$
2.12 Система опалення з термостатами та по кімнатною горизонтальною розводкою.	$\zeta = 1$
2.13. Тип будівлі по зниженню теплонадходжень:	
Будівля з опалюваними підвалами	$\beta h = 1,07$
3. Зовнішні огорожувальної конструкції	
3.1. Кількість	5
3.2. Характеристики	
3.2.1. Зовнішні стіни:	

Площа	$A_w = 384 \text{ м}^2$
Наведений опір теплопередачі	$R_w = 2,8 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$
Тип огорожувальної конструкції	1
3.2.2. Вікна й балконні двері:	
Площа	$A_F = 75 \text{ м}^2$
Наведений опір теплопередачі	$R_F = 0,6 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$
Тип огорожувальної конструкції	1
3.2.3. Вхідні зовнішні двері:	
Площа	$A_{ed} = 5 \text{ м}^2$
Наведений опір теплопередачі	$R_{ed} = 0,6 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$
Тип огорожувальної конструкції	1
3.2.4. Перекриття над підвалом:	
Площа	$A_f = 256 \text{ м}^2$
Наведений опір теплопередачі	$R_f = 2,8 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$
Тип огорожувальної конструкції	3
Температура зовні огороження	$t_{int} = 14^\circ\text{C}$
3.2.5. Горищне перекриття:	
Площа	$A_c = 256 \text{ м}^2$
Наведений опір теплопередачі	$R_c = 3,3 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$
Тип огорожувальної конструкції	3

Температура зовні огороження	$t_{int} = 16\text{ }^{\circ}\text{C}$
4. Вікна	
4.1. Площа поверхні просвітів кімнат	$A_{\text{кв}} = 2330\text{ м}^2$
4.2. У тому числі площа вікон у кухнях	$A_{F_{\text{кух}}} = 545\text{ м}^2$
4.3. Площа вікон вбудованих приміщень	$A_{F_{\text{н/ж}}} = 0\text{ м}^2$
4.4. Площа вікон сходово-ліфтового вузла	$A_{F_{\text{ллу}}} = 216\text{ м}^2$
4.5. Площа входних дверей	$A_{ed} = 52\text{ м}^2$
4.6. Опір повітрепроникнення вікон	$R_{aF} = 0,57\text{ м}^2 \cdot \text{год} \cdot \frac{\text{Па}^{\frac{2}{3}}}{\text{кг}}$
4.7. Коефіцієнт відносного проникнення сонячної радіації	$k_F = 0,68$
4.8. Коефіцієнт затінення непрозорими елементами заповнення	$t_f = 0,8$
4.9. Площа поверхні просвітів квартир і вбудованого нежитлового поверху різної орієнтації	
4.9.1. На північ	$A_{F1} = 0\text{ м}^2$
4.9.2. На північний схід	$A_{F2} = 0\text{ м}^2$
4.9.3. На схід	$A_{F3} = 25\text{ м}^2$
4.9.4. На південний схід	$A_{F4} = 0\text{ м}^2$
4.9.5. На південь	$A_{F5} = 30\text{ м}^2$

4.9.6. На південний захід	$A_{F6} = 0\text{м}^2$
4.9.7. На захід	$A_{F7} = 20\text{м}^2$
4.9.8. На північний захід	$A_{F8} = 0\text{м}^2$
4.10. Інтенсивність сонячної радіації для просвітів різної орієнтації	
4.10.1. На північ	$I_1 = 112\text{кВт} \cdot \frac{\text{ГОД}}{\text{м}^2}$
4.10.2. На північний схід і північний захід	$I_{2,8} = 119\text{кВт} \cdot \frac{\text{ГОД}}{\text{м}^2}$
4.10.3. На схід і захід	$I_{3,7} = 176\text{кВт} \cdot \frac{\text{ГОД}}{\text{м}^2}$
4.10.4. На південний схід і південний захід	$I_{4,6} = 260\text{кВт} \cdot \frac{\text{ГОД}}{\text{м}^2}$
4.10.5. На південь	$I_5 = 299\text{кВт} \cdot \frac{\text{ГОД}}{\text{м}^2}$
5. Гаряче водопостачання	
5.1. Тип системи гарячого водопостачання: с неізольованими стояками й з рушникосушками	$k_{hI} = 0,35$
5.2. Наявність мереж гарячого водопостачання: при наявності мереж гарячого водопостачання після ЦТП	$k_{hI} = 0,35$
5.3. Середня витрата води одним користувачем	$g = 105\text{л/доба}$

**Розрахунок тепловтрат будинку.**

Розрахунок здійснюється згідно **АВОК 8-2007**.

Кількість теплової енергії, необхідної для опалення й вентиляції житлових будинків за опалювальний період, кВт :

$$Q_h = Q_{tr} + Q_{inf} - (Q_{int} + Q_s) v \xi / \beta_h, \text{ де}$$

$Q_{tr}$  - тепловтрати будинку через зовнішні, огорожувальні конструкції за опалювальний період, Квт•год;

$Q_{inf}$  - тепловтрати будинку за рахунок вентиляційного повітрообміну з урахуванням інфільтрації за опалювальний період, Квт•год

$Q_{int}$  - побутові тепlopоступлення у квартирах і приміщеннях суспільного призначення за опалювальний період, Квт• год;

$Q_s$  - теплонадходження через зовнішні світлопрозорі огорожувальні конструкції від сонячної радіації з урахуванням орієнтації фасадів по восьми румбам за опалювальний період, Квт•год;

$v$  - коефіцієнт, що враховує зниження використання теплонадходжень у періоди перевищення їх над тепловтратами приміщень;

$\xi$  - коефіцієнт ефективності систем автоматичного регулювання подачі теплоти на опалення;

$\beta_h$  - коефіцієнт, що враховує додаткове тепловикористання системою опалення, пов'язане з дискретністю номінального теплового потоку номенклатурного ряду опалювальних приладів, з їхніми додатковими тепловтратами через радіаторні ділянки конструкцій, що обгороджують, з тепловтратами трубопроводів, що проходять через неопалювані приміщення;

- Тепловтрати будівлі через зовнішні огорожувальні конструкції за опалювальний період, кВт • год



$$Q_{tr} = 0,024 D_d \sum_i \frac{1}{R_i} A_i n$$

$$D_d = (t_{int} - t_{ht}) z_{ht}$$

$$D_d = (20 + 0,6) \cdot 176 = 3625,6 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{доб.}$$

$$Q_{tr} = 0,024 \cdot 3625,6 \left[ \frac{384 - 75}{2,8} + \frac{75}{0,6} + \frac{5}{0,6} + \frac{256}{3,3} \left( \frac{20 - 16}{20 + 25} \right) + \frac{256}{2,8} \left( \frac{20 - 14}{20 + 25} \right) \right] = 22858,7 \text{ Вт} \cdot \text{год}$$

• Тепловтрати будівлі за рахунок вентиляційного повітрообміну з урахуванням інфільтрації, кВт•год

$$Q_{inf} = 6,7 \cdot 10^{-3} (L_v K_v + L_{vq}) c_v \rho_q^{ht} D_d = 6,7 \cdot 10^{-3} \cdot (30 \cdot 1,04 + 4) \cdot 1 \cdot \frac{353}{273 + 0,5 \cdot 20,6} \cdot 3625,6 = 1065,43$$

Вт•год

• Побутові джерела теплоти протягом опалювального періоду, кВт • год

$$Q_{int} = 0,024 q_{int} z_{ht} A_r$$

$$q_{int} = 10 \text{ Вт/м}^2 \text{ при } A_s = 512 \text{ м}^2$$

$$Q_{int} = 0,024 \cdot 10 \cdot 176 \cdot 375 = 15840,11 \text{ Вт} \cdot \text{год}$$

• Надходження тепла через вікна від сонячної радіації з урахуванням орієнтації фасадів по восьми румбах, кВт • год

$$Q_s = \tau_F k_F \sum_{k=1}^{\infty} A_{Fkb} I_k$$

$$Q_s = 0,8 \cdot 0,68 \cdot (20 \cdot 176 + 25 \cdot 176 + 30 \cdot 299) = 9188,16 \text{ Вт} \cdot \text{год}$$

• Необхідна кількість теплової енергії для опалення і вентиляції будинку, кВт • год

$$Q_h = | Q_{tr} + Q_{inf} - (Q_{int} + Q_s) \nu \xi | \beta_h$$

$$Q_h = | 22858,7 + 1065,43 - (15840,11 + 9188,16) \cdot 0,8 \cdot 1 | \cdot 1,07 = 4174,7 \text{ Вт} \cdot \text{год}$$

- Середньогодинна за опалювальний період витрата теплової енергії на гаряче водопостачання

$$Q_{hw} = \frac{V_{hw}(55 - t_c)(1 + k_{hl})\rho_w c_w}{3,6 \cdot 24}$$

$$Q_{hw} = \frac{1050(55 - 5)(1 + 0,2) \cdot 1 \cdot 4,2}{3,6 \cdot 24} = 2603,125 \text{ Вт*год}$$

Надходження тепла від Сонця і від електроприладів в будинку не враховується при розрахунку загальної необхідної потужності обладнання. Необхідна потужність буде, відповідно:

$$Q_k = Q_{tr} + Q_{inf} + Q_{hw} = 22858,7 + 1065,43 + 2603,125 = 26527,255, \text{ Вт*год}$$

Додаємо 10% для системи кондиціонування і отримуємо

$$Q_k = 26527,255 \cdot 1,1 = 29179,98 \sim 30 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

### **Вибір обладнання і розрахунок вартості встановлення і експлуатації**

Отже для опалення, ГВП і вентиляції необхідно порядку 30кВт потужності.

Для аналізу ефективності використання теплового насосу для тепlopостачання будинку порівнюємо його за економічністю з сучасним газовим конденсаційним котлом.

Вибираємо з продукції одного виробника і приблизно одного цінового сегменту для підвищення достовірності порівняння. Компанія Viessmann являється одним з провідних виробників тепло генеруючого обладнання. Розглядаємо затрати на систему тільки елементів нагрівання (затрати на розводку, бак, теплообмінники, теплу підлогу не враховуються, відштовхуючись від того, що в обох системах вони практично однакові.).

- Газовий котел

Висунутим умовам задовольняє Vitodens 200-w газовий конденсаційний котел у настінному виконанні

Потужність до 35кВт Витрата газу при максимальній загрузці – до 3,86 м3/год Вартість – від 3168 до 4422 євро. Вартість монтажу і обв'язки складає порядку 20% вартості котла – 1500 євро

- Розрахунок вартості палива

При правильному монтажі і розрахунках робота котла складає 15 годин на день в опалювальний період і 2 години на день в неопалювальний. Приймаємо середню загрузку на рівні 70%.

Маємо:

$$G = 3,86 * (15 * 176 + 2 * 180) * 0,7 = 8106 \text{ м}^3$$

Згідно з тарифами на природний газ для населення, встановленими у відповідності з постановою НКРЕ України № 293 від 03.03.2019 вартість газу при споживанні становить 587.88 коп. за м3.

- Тепловий насос.

Висунутим умовам задовольняє Vitocal 300

Теплова потужність 22.7 кВт

Електрична потужність 3.87 кВт

Теплова потужність (холод) 19.09 кВт

Вартість ТН \*(з ТЕН і цирк. насосом) ~11754 євро.

Затрати на монтаж і обслуговування ~6320 євро.

Порівняно з газовим котлом, тепловий насос окупиться приблизно за 8 років роботи за рахунок економії на енергоносіях, за умови збереження сучасної тенденції розвитку ціни на енергоносії в світі.

## **2.5 Обґрунтування вибору системи**

Запропонована система теплопостачання і кондиціонування повністю задовольняє вимоги щодо стабільності і безперебійності роботи, оскільки всі енергозберігаючі установки страхуються за допомогою електричних нагрівачів. Водночас використання теплового насосу, сонячного колектора, рекуператора, підземного теплообмінника поряд з використанням оптимізованої системи автоматизації дозволяє значно знизити залежність будівля від зовнішніх джерел енергії. Вертикальні свердловини колектора теплового насосу були використані в зв'язку з обмеженістю простору їх встановлення. Інші тепло генеруючі установки типу тригенераційної не розглядались зважаючи на велику вартість транспортування палива для них.

## РОЗДІЛ 3. ОСНОВНІ РІШЕННЯ ПО АВТОМАТИЗАЦІЇ ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ

### 3.1 Дослідження об'єктів керування

#### 3.1.1 Дослідження водяного калорифера як об'єкта керування

Процес тепломасообміну в теплообмінних апаратах відрізняється значною розподіленістю (неоднорідністю) температур повітря й води. Температура змінюється уздовж трубки в межах одного ходу, між ходами й між рядами.

В апаратах збурюючи ми впливами, є температура повітря на вході, витрата повітря (якщо апарат працює при змінній витраті), температура води на вході. Керуючими впливами можуть бути витрата води, або температура води на вході. Регульованим параметром для калорифера є температура повітря на виході.

Повітронагрівач і поверхневий повітроохолоджувач у першому наближенні можна розглядати як аперіодичну ланку першого порядку, що характеризується коефіцієнтом передачі  $K_p$  і постійною часу  $T$ . За результатами експериментів виявилось, що при різних збуреннях постійна часу теплообмінного апарата даної конструкції не залежить від виду збурення, а визначається тільки витратами середовищ, тобто повітря й води.

$$W(p) = \frac{K_{tep}}{T_{tep}p + 1} \quad (3.1)$$

За однією з методик (ГПІ “Харківський Сантехпроект”), можна приблизно оцінити значення параметру  $T$ :

$$T = (c_m M_m + c_w M_w) / \left[ c_w G_w + \left( \frac{2}{kF} + \frac{1}{c_w G_w} \right)^{-1} \right] \quad (3.2)$$

При збуреннях з боку води і її малих швидкостях може знадобитися враховувати транспортне запізнювання.

### 3.1.2 Дослідження електрокалорифера (ТЕН) як об'єкту керування.

Теплоелектронагрівач (ТЕН) - іноді використовується при відсутності централізованого гарячого водопостачання й для нагрівання локальних зон кондиціонування й вентиляції. Потужність ТЕН, як правило, не перевищує 40-50 кВт. У якості керуючого впливу в цьому випадку використовується зміна потужності електронагріву. ТЕН при постійній витраті повітря представляється аперіодичною ланкою першого порядку з незмінними коефіцієнтом  $K_p$  і постійно. часу  $T$ .

$$W(p) = \frac{K_{el}}{T_{el}p + 1} \quad (3.3)$$

### 3.1.3 Дослідження контрольного приміщення як об'єкта керування

Математичний опис перехідного процесу зміни температури в приміщенні ускладнений рядом факторів. Джерела теплоти довільним образом розподілені в об'ємі приміщення; місця подачі повітря теж розташовані довільно; потужності джерел і витрати повітря в окремих частинах приміщення не збалансовані. Внаслідок цього температура повітря як регульований параметр виявляється розподіленою складним чином в об'ємі приміщення. Особливо значна нерівномірність спостерігається в тій частині, звідки надходить приточний неізотермічний струмінь (зазвичай у верхній зоні).

Джерела теплоти в приміщенні променево-конвективні, при цьому конвективна теплота надходить у повітря, а промениста - на поверхню огорожень і обладнання. Щільність теплового потоку на різних поверхнях неоднакова. Разом зі зміною температури повітря відбувається зміна температури огорожень і обладнання, що залежить від розмірів і теплофізичних характеристик матеріалів, періоду коливань температури (у періодичному

процесі). Обладнання може мати досить складну форму й представлення його найпростішим тілом (пластиною, кулею або циліндром) може привести до істотної погрішності.

Тому, для створення відносно точної, але не занадто об'ємної моделі приміщення, введемо ряд спрощень. Приміщення будемо розглядати як об'єкт у зосереджених параметрах, тому рівняння теплового балансу будемо складати відносно температури повітря, що видаляється, прийнятої в загальному випадку не рівній температурі в робочій (контрольній) зоні. Основні огороження розглядаються як пластини, у яких тепловий потік у поздовжньому напрямку відсутній. Коефіцієнт теплообміну розглядається як середній по площі огорожень. Теплофізичні параметри огорожень і устаткування в розглянутому діапазоні температур постійні.

Наближено приймемо, що температура внутрішньої поверхні буде змінюватися експотенціально при стрибкоподібній зміні температури повітря. Тоді справедливі рівняння:

$$\begin{aligned} T_{og} dt_{vpov} / d\tau + t_{vpov} &= K_{og} t_{yh} \\ T_{ob} dt_{vpov} / d\tau + t_{vpov} &= K_{ob} t_{yh} \end{aligned} \quad (3.4)$$

, де  $K_{og}, K_{ob}$  - коефіцієнти передачі для поверхонь огороження й устаткування як ланки САР (для встаткування він дорівнює одиниці);  $T_{og}, T_{ob}$  - постійні часу для поверхні огорожень і встаткування. Ці величини визначаються по формулах:

$$\begin{aligned} K_{og} &= [1 + \alpha_{ok} / \alpha_v (1 + Bi_{ok})]^{-1} \\ T_{og} &= (c\rho\delta)_{og} / [\alpha_{ok} + \alpha_v (1 + Bi_{ok})] \\ T_{ob} &= (c\rho\delta)_{ob} / 2\alpha_v \\ \alpha_v &\approx (1 \div 2) Kp^{0.7} \end{aligned} \quad (3.5)$$

Динамічні властивості приміщення залежать від кратності повітрообміну  $Kp$ , узагальненого розміру приміщення  $Lv$  як відносини обсягу приміщення

Врѳм до площі поверхні огорожень і устаткування  $F$ , статичних і динамічних характеристик огорожень і устаткування.

На початку перехідного процесу зміна температури відбувається швидко. Це пояснюється тем, що теплота, що подається у приміщення йде на зміну температури повітря в обсязі приміщення й не акумулюється огороженнями й устаткуванням. У міру акумуляції теплоти огороженнями й устаткуванням швидкість зміни температури повітря уповільнюється й перехідний процес у приміщенні залежить від інерційних властивостей огорожень, тому теоретичний кінець перехідного процесу досягається через кілька діб.

Властивості приміщення при коливаннях високої частоти можна апроксимувати аперіодичною ланкою першого порядку.

$$W(p) = \frac{K_p}{T_p p + 1}, \text{ де:}$$

$$T_p = 2\sqrt{T(T - T_{og})}$$

$$K_p = [1 + M_{og}(1 - K_{og})]^{-1}$$

$$T = \left\{ [Kp(1 + M_{og})]^{-1} + T_{og} \right\} / (1 - K_v K_{og}) \quad (3.6)$$

$$K_v = (1 + M_{og}^{-1})^{-1}$$

$$M_{og} = \alpha_v / c_{pv} \rho_v l_v Kp$$

Приміщення як об'єкт регулювання температури може "працювати" на суттєво різних частотах коливань збурюючих і керуючих впливів. Коливання з періодом порядку десятка хвилин характерні для роботи автоматичного регулятора. Періоди від декількох хвилин до годин характерні для зміни складових теплового навантаження приміщення.



### 3.2 Опис функцій системи автоматизації

Для правильного функціонування система автоматизації повинна отримувати дані відповідних контрольно-вимірювальних приладів. Відхилення вимірюваних величин від заданих значень, виявлені за показами приладів, свідчать про порушення номінальних режимів.

Організація технологічного контролю і вибір приладів зроблені у відповідності з такими принципами:

- контрольно-вимірювальні прилади розташовані в місцях найбільш характерних для робочої зони показань параметрів;
- контрольно-вимірювальні прилади повністю сумісні з центральним контролером системи;
- підвищена надійність і термін експлуатації контрольно-вимірювальних приладів;
- Параметри, спостереження за якими необхідне для правильного ведення технологічного процесу, відображаються в SCADA системі на екрані комп'ютера, який підключено до контролера

### 3.2.1 Технологічний контроль

Контролю підлягають такі параметри:

#### 3.2.1.1 Засоби вимірювання температури

Табл.3.1 Засоби вимірювання температури

Параметр	Позиція	Розташування	Модель КВП	Клас	Діапазон
Температура	1а	Ззовні будівлі	QAC 2012	0,5	(-50-70)
	2а	Вхід в пов. канал	QAM2112	0,8	(-50-80) °C
	3а	Пов.кан.після охол.	QAM2112	0,8	(-50-80) °C
	3а	Вихід пов. кан.	QAM2112	0,8	(-50-80) °C
	5а	Контрольне прим.	QAA25	0.5	(-15-50) °C
	6а-17а	Інші прим.	RDJ10	0.5	(-15-50)
	18а	Вихід ТН	QAE26.91	0.5	(-50-180)
	19а	Звор. в акк. бак	QAE26.91	0,5	(-50-180) °C
	20а	Акк.бак	QAE26.91	0,8	(-50-180)
	21а	Бак ГВП	QAE26.91	0,8	(-50-180)
	22а	Звор. кан. ГВП	QAE26.91	0,8	(-50-180) °C
	23а	Прям. кан. т. п.	QAE26.91	0.5	(-50-180) °C
	24а	Звор. кан. т.п.	QAE26.91	0.5	(-50-180)
	25а	Тепл. підл.	QAE26.91	0.5	(-50-180)

Вибір даних контрольно-вимірювальних приладів продиктований їх достатньою точністю і повною сумісністю з центральним контролером.

### 3.2.1.2 Засоби вимірювання вологості.

Табл.3.2 засоби вимірювання вологості

Параметр	Позиція	Розташування	Модель КВП	Клас	Діапазон
Вологість	5а	Контрольне	QAA25	5%	(0-90)%

Регулювання вологості в системі відбувається по опосередкованим даним з датчика температури після охолоджувача. Внаслідок своєї великої інерційності датчик, розташований в контрольному приміщенні, здійснює лише коригуючі функції.

### 3.2.1.3 Засоби вимірювання перепаду тиску, швидкості і витрати

Табл. 3.3 Засоби вимірювання перепаду тиску, швидкості і витрати

Параметр	Позиція	Розташування	Модель КВП	Клас	Діапазон
Тиск	27а	Приточний пов. кан.	QBE2102	1	0.5-5 бар
	32а	Вихід ТН	QBE2101	0.5	-1-9 бар
	33а	Канал опал.	QBE2101	0.5	-1-9 бар
	34а	Канал ГВП	QBE2101	0.5	-1-9 бар
Швидкість	28а	Приточний канал	QVM62.1	1	0-10м/с
Витрата	29а	Приточний канал	5WK9	3	0-500м.куб./Г
	35а	Вихід акк. бак	MAG1100+MAG5000	1	0-10
	36а	Конт.теп.підл.	MAG1100+MAG5000	1	0-10

Тиск в системі кондиціонування вимірюється для контролю постійної витрати повітря через основний канал. В системі ГВП падіння тиску являється сигналом про відкриття крану.

#### **3.2.1.4 Засоби вимірювання рівня**

Табл.3.4 Засоби вимірювання рівня.

Параметр	Позиція	Розташування	Модель КВП	Клас	Діапазон
Рівень	30a	Акумул. бак	CLS200	1	0-2м
	31a	Бак ГВП	CLS200	1	0-1м

В акум. баку рівень фіксується для більше для інформативної функції, оскільки система опалення закрита. В системі ГВП рівень являється одною з головних контрольованих величин.

### **3.3 Автоматичне регулювання та управління**

АСУ, що проектується, структурно є дворівневою. Локальна система управління рівнем буде реалізовуватись на базі ПЛК. Основним елементом такої системи є програмно-логічний контролер, функціями якого є збір і перетворення у цифрову форму сигналів, що поступають від датчиків, а також формування керуючої дії згідно заданого закону регулювання.

Було проведено аналіз ринку програмно-логічних контролерів (у пункті 5), орієнтованих на виконання поставлених завдань, тобто управління системою автоматизації тепlopостачання та кондиціонування будинку. Основною вимогою була надійність обраного ПЛК та можливість легкого приєднання додаткових модулів. В результаті було обрано SIMATIC S7 300, що повністю задовольняє вказаним вимогам.

Вхідні сигнали комутуються на модулі вводу, деякі з них використовуються для реалізації алгоритму керуючої дії. Усі вхідні сигнали йдуть на супервізорний рівень АСУ.

Регулюванню підлягають такі параметри:

1) Температура повітря в контрольному приміщенні;

Регулювання температури здійснюється за допомогою зміни витрати теплоносія в систему опалення.

2) Вологість повітря в контрольному приміщенні;

Регулювання вологості повітря здійснюється в залежності від температури повітря і поточної вологості, сигнали які надходять до контролера. Контролер видає сигнали на зміну витрати теплоносія і увімкнення зволожувача.

3) Температура води в баку ГВП;

Регулювання температури води в баку ГВП буде працювати за наступним принципом. Максимальну ефективність отримуємо з теплоносія від сонячного колектора, а якщо не хватає необхідної температури, то контролер подає сигнал на повернення клапану для догріву води від системи підживлення ГВП.

4) Рівень води в баку ГВП

В залежності від поточного рівня води в баку, сигнал надходить до контролера, а сам контролер видає сигнал керування електроприводу 2-х клапану, який змінює витрату води до баку.

### **3.4 Живлення приладів та засобів автоматизації**

Живлення відбувається за допомогою трьохфазного змінного струму. Струм живлення : змінний. Напруга живлення: 380В. Частота: 50Гц. У щиті автоматизації встановлено блоки живлення постійного струму, з вихідною напругою 24В для контролера і датчиків тиску.

Для подачі живлення на щит автоматизації застосовується рубильник. Для захисту блоку живлення постійного струму застосовується модульний автоматичні вимикачі.

## РОЗДІЛ 4. ФОРМУЛЮВАННЯ ВИМОГ ДО ПТКЗА

Вимоги, які висуваються до ПТКЗА:

Відповідність державним та міжнародним стандартам:

Програмовані логічні контролери та супутнє обладнання повинні відповідати вимогам державного стандарту ДСТУ 4108-2002 «Контролери програмовані. Частина 2. Вимоги до обладнання та випробування», міжнародним аналогом якого є стандарт ІЕС 61131-2. Дані стандарти визначають вимоги щодо обслуговування, експлуатації, зберігання ПЛК та супутнього обладнання, а також вимоги щодо безпеки;

- Обладнання, що входить до складу вимірювальних каналів та каналів керування повинне відповідати вимогам стандарту ІЕС 60654-1-2001 «Обладнання для вимірювання та керування в промислових процесах. Умови експлуатації. Частина 1. Кліматичні умови» та ІЕС 60654-2-2001 «Обладнання для вимірювання та керування в промислових процесах. Умови експлуатації»;

Технічні засоби в складі ПТКЗА повинні відповідати вимогам стандарту ДСТУ 3451-96 «Технічні засоби для розподілення автоматизованих систем керування технологічними процесами. Загальні вимоги до спряження виробів»;

- Мови програмування ПЛК повинні відповідати вимогам стандарту ІЕС 61131-3;

- ПТКЗА повинен відповідати вимогам стандарту ДСТУ 3481-96 «Локальна мережа введення - виведення для розподілених автоматизованих систем керування. Загальні технічні вимоги»;

- Використання інструментального ПЗ (LCADA- конфігуратора), що відповідає вимогам стандарту ІЕС-61131.

Призначенням даного програмно-технічного комплексу є:

Керування виконавчими механізмами в ручному та автоматичному режимах;

Здійснення обміну інформації з супервізорним рівнем АСУ ТП;

Відображення інформації на мнемосхемі про поточний стан технологічного процесу;

Спрацьовування сигналізації при можливих відхиленнях режимних параметрів;

Спрацьовування блокувань при можливих аварійних ситуаціях;

Ведення бази даних та звіту подій.

Метою розробки даного комплексу є:

Підвищення точності управління технологічним процесом

Підвищення надійності та ефективності функціонування системи управління;

Підтримка параметрів прямого теплоносія системи тепlopостачання на заданному рівні;

Підтримка температури гарячої води мережі ГВП на заданому рівні;

Зниження витрат на обслуговування та ремонт системи;

Обмін інформацією з верхнім рівнем управління, що надає можливість віддалено керувати та слідкувати за ходом технологічного процесу;

Зниження витрат на обслуговування та ремонт системи.

Основними вимогами до ПТКЗА, що розроблюється, є:

Використання контролерів відомих фірм-виробників із належним рівнем технічної підтримки і сервісного обслуговування



Використання стандартних інтерфейсів передачі інформації на базі відкритих протоколів обміну даними

Використання спеціалізованих пакетів SCADA провідних виробників таких систем, які підтримують протоколи, що використовуються в даній системі

Використання стандартних апаратних модулів відомих фірм-виробників з добре налагодженою системою сервісного обслуговування

Використання базових програмних засобів реального часу (операційні системи) згідно зі стандартами Міжнародної електротехнічної комісії

Використання інструментального ПЗ (LCADA- конфігуратора), що відповідає вимогам стандарту IEC 61131

Середнє напрацювання на відмову повинно бути не менше:

Для інформаційної функції- 40000 год

Для керуючої функції- 20000 год

Допустимий діапазон зміни:

регульованої температури зворотного теплоносія мережі опалення – 2°C

регульованої температури гарячої води у мережі ГВП - 2°C

регульованого тиску прямого теплоносія мережі опалення – 5 кПа

## РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ПТКЗА

Розглянемо контролери фірм Raut Automatic, Siemens та Honeywell. Далі будуть розглядатись готові рішення, які задовольняють умовам, таким як кількість входів/виходів, час опитування вимірювальних каналів, можливостей розширення та підтримки інтерфейсів.

Порівняння контролерів та додаткових модулів наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 Порівняльна таблиця контролерів

Назва	Raut Automatic	Siemens	Honeywell
Тип, модель	Waterheat-S3-24	SIMATIC S7-300CPU 314C-2 PN/DP	Eagle (CLEA2026B01)
Модулі розширення		SM 331 AI8 SM 332 AO4	CLIOP823A DI12
Входи	8 AI, 10 DI	8 AI, 24 DI	10 AI, 16 DI
Виходи	4 AO, 10 DO	4 AO, 16 DO	4 AO, 8 DO
Час опитування, мс	100	100	100
Клас точності	0.5	0,5	0,5
Ціна, грн	4100	52 670	18000

Був обраний Siemens S7-300 CPU 314C-2 DP. За технічними характеристиками дана модель забезпечить надійне функціонування, швидке та точне виконання всіх запитів до системи. До переваг контролера можна віднести наявність симулятора, що дозволяє розробляти програмне забезпечення без необхідності знаходитись поруч з контролером. Також для візуалізації інформації про об'єкт по місцю використовуватиметься НМІ-панель.

На рис.5.1 представлена схема програмно – технічного комплексу засобів автоматизації, який включає в себе ПК, ПЛК та ТОУ. Нижній рівень АСР являє собою контролер з вимірювальною та виконавчою апаратурою, а верхній – супервізорний.

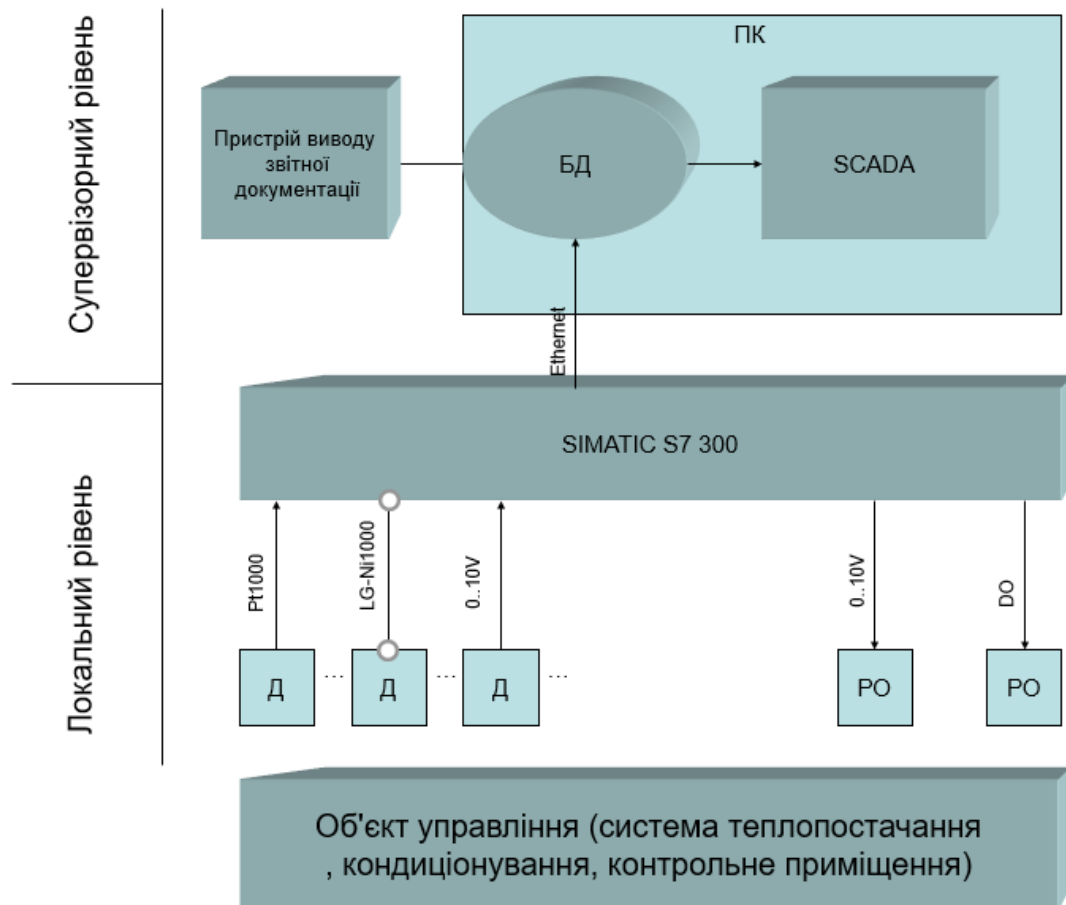


Рис. 5.1 Структурна схема ПТКЗА

Розроблена АСУ структурно є дворівневою. Нижній рівень виконує функцію збору інформації та локального управління. Верхній – інформативну та супервізорного управління.

## Опис програмно-технічних рішень локального рівня

### Порядок програмування контролера та обмін даними з верхнім рівнем автоматизації

Основою нижнього рівня системи автоматизації є контролер Siemens S7-300. Для програмування контролера використовується система програмування TIA Portal V15.

Програмування контролера здійснюється наступними етапами:

#### 1. Запуск TIA Portal та створення нового проекту

Необхідно відкрити програму TIA Portal V15 та обрати пункт меню «Create new project». Після вибору назви проекту та місця його розташування необхідно додати конфігурацію пристрою. Для цього необхідно обрати пункт меню «Configure a device», потім «Add new device». Із запропонованих варіантів обрати потрібний контролер, додати до нього необхідні модулі вводу/виводу та відконфігурувати адреси їх входів та виходів.

#### 2. Реалізація необхідних функцій із використанням стандартних засобів та бібліотек.

#### 3. Завантаження та відладка програми

Для відладки програми без контролера можна скористуватись вбудованим симулятором. Для цього на панелі інструментів необхідно обрати пункт «Start simulation». Для завантаження програми до контролера необхідно обрати пункт «Download to device» на панелі інструментів, знайти необхідний контролер та завантажити на нього програму.

### Реалізація функцій нижнього рівня системи автоматизації

ПТКЗА локального рівня повинно реалізовувати систему регулювання з використанням ПІ та ПД алгоритмів управління. Основні сигнали порівнюються з сигналами задавачів. Керуючі сигнали надходять через модулі аналогового SM-331, SM-332, дискретного виводу до виконавчих механізмів.

### Порядок реалізації ручного керування процесом

Реалізація ручного керування процесом здійснюється з використанням НМІ-панелі TP900 Comfort, де присутнє вікно перемикання між ручним та автоматичним режимами з можливістю задавати керуюче значення для виконавчого механізму та перетворювачів частоти

## Опис програмно-технічних рішень супервізорного рівня

Порядок створення SCADA-програми, взаємодія з нижнім рівнем автоматизації

Основою супервізорного рівня системи автоматизації є SCADA-система. SCADA-система в даній роботі реалізує відображення мнемосхеми технологічного процесу та значень технологічних параметрів, виконує архівацію всіх технологічних параметрів, реєстрацію спрацювання технологічної сигналізації, відображає у вигляді графіків технологічні параметри із архіву і параметри в реальному часі, обмін даними з контролером.

Створення даної системи виконується за допомогою системи програмування TIA Portal V15.

Для створення SCADA-системи необхідно створити новий проект, додати до проекту робочу станцію та налаштувати її зв'язок з контролером.

Після цього необхідно реалізувати весь необхідний функціонал даної системи.

Для відладки SCADA-системи можна скористатись режимом симуляції.

Реалізація функцій верхнього рівня ПТКЗА

SCADA-система в даній роботі реалізовує такі функції:

- обмін даними з нижнім рівнем ПТКЗА;
- наглядне відображення роботи технологічного об'єкту у вікні мнемосхеми із значеннями технологічних параметрів та можливістю ручного керування об'єктом;
- відображення трендів та фіксування тривог у відповідних вікнах, що забезпечують відслідковування та сповіщення про недопустимі значення технологічних параметрів.

Перераховані функції забезпечують повноцінне функціонування SCADA-програми в рамках верхнього рівня ПТКЗА, оскільки забезпечують повне інформаційне забезпечення оператора про стан технологічного процесу та реалізують відповідні можливості дистанційної взаємодії оператора з технологічним об'єктом.

Реалізація ручного керування технологічним процесом за допомогою SCADA-програми

В SCADA-системі ручне керування технологічним процесом виконується в окремому вікні, де перехід між автоматичним та ручним режимом виконується за допомогою кнопок Автоматичний/Ручний.

Ручне керування технологічним процесом реалізовано у якості зміни завдання регульованих параметрів та можливістю задавати керуюче значення для виконавчого механізму.

## РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### 6.1 Розрахунок вимірювальних каналів САР

Розглянемо розрахунок вимірювального каналу температури повітря на виході з каналу. Його структурна схема наведена нижче.

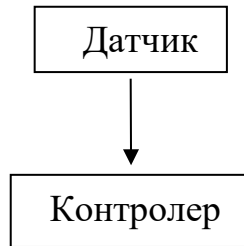


Рис.6.1 Структурна схема вимірювального каналу

Для кожного елементу ВК визначаємо клас точності і заносимо відповідні дані до таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 Характеристики елементів вимірювального каналу.

Елемент ВК	Тип	Клас	Діапазон
Термоперетворювач	QAM2112,	0.8	(-50 ... +80)
Контролер	S7 300	0.1	(-50

Приймаємо максимальну абсолютну похибку ВК.

Для ВК з сигналом по температурі повітря в повітропроводі системи:

$$\Delta_{VK}^{\max} = 1.04^{\circ}C ;$$

Розрахуємо абсолютну похибку ВК.

Абсолютна похибка ВК визначається за формулою (6.1):

$$\Delta_{VK} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta_i)^2} \quad (6.1)$$

де  $\Delta_i$  – абсолютна похибка  $i$ -го елемента ВК.

Визначення абсолютних похибок елементів ВК по класу точності робимо за формулою (6.2):

$$\Delta_i = \varepsilon_i (X_{\max} - X_{\min}) / 100, \quad (6.2)$$

де  $\varepsilon_i$  – клас точності  $i$ -го елемента;

$(X_{\max} - X_{\min})$  – діапазон вимірювання.

Розрахуємо абсолютні похибки елементів ВК:

$$\Delta_1 = 0.8(80 + 50) / 100 = 1.04^\circ \text{C};$$

$$\Delta_2 = 0.1(100 + 50) / 100 = 0.15^\circ \text{C};$$

Розрахуємо абсолютну похибку кожного ВК:

$$\Delta_{\text{вк}} = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2} = \sqrt{1.04_1^2 + 0.15_2^2} = \pm 1.078^\circ \text{C} \quad (6.3)$$

З урахуванням абсолютної похибки ВК можна записати, що дійсне значення температури повітря в повітропроводі системи дорівнює:

$$T_D = (21 \pm 1.078)^\circ \text{C} \quad (6.4)$$

Враховуючи те, що максимальна абсолютна похибка для ВК з сигналом по температурі повітря в повітропроводі системи  $2^\circ \text{C}$ , можна стверджувати, що отримані вимірювання каналу задовольняють вимогам щодо точності ( $1.078^\circ \text{C} < 2^\circ \text{C}$ ). Таким чином комплектація ВК задовільна. Аналогічно були виконані розрахунки для інших вимірювальних каналів та встановлено задовільність їх комплектації.

## **6.2 Розрахунок надійності функціонування САР.**

### **6.2.1 Структурні схеми надійності.**



Для розрахунку надійності АСР виділяємо такі функції:

- інформаційну;
- регулюючу.

Складемо структурні схеми надійності АСР для температури повітря на виході з каналу повітропроводу. Як правило в структурних схемах надійності (СШН) елементи сполучаються послідовно. Це означає, що при відмові хоч би одного з них має місце відмова всієї функції.

### 6.2.2 Розрахунок надійності реалізації функцій АСР.

Кожний елемент структурної схеми надійності характеризується інтенсивністю потоку відмов  $\lambda$  (1/год), який являє собою середню кількість відмов елементів на годину, або середнім часом напрацювання на відмову

$$T_s = \frac{1}{\lambda}, \text{ год} \quad (6.5)$$

Значення потоку інтенсивності потоку відмов для ключових елементів структурної схеми надійності наведені в таблиці нижче.

Табл.6.2 Значення  $\lambda$ .

Елемент	$\lambda \cdot 10^{-6}$ , 1/год
Термометр опору QAM2112, Pt1000	8.3
Деталі кріпильного монтажу	0.015
РС	15
Simatic S7 300C	10
Регулюючий електропривід SSP61	13.5

Надійність АСУ ТП характеризується такими показниками:

- середня напрацювання на відмову  $T_{сер}$ ;
- середній час відновлення  $T_v$ ;

- коефіцієнт готовності  $K_{\text{гот}}$ .

Рівень надійності виконання функції АСУ ТП повинен відповідати таким вимогам:

- $T_{\text{сер}} > 1000$  год;
- $T_{\text{в}} < 4$  год;
- $K_{\text{гот}} > 0,998$ .

Найменші жорсткі вимоги висуваються до інформаційної функції. Тому надійність виконання цієї функції характеризується параметром  $T_{\text{сер}}$ . Параметр  $T_{\text{сер}}$  розраховується за формулою

$$T_s = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (6.6)$$

Імовірність безвідмовної роботи за час  $\tau$  розраховується за формулою:

$$P(\tau) = e^{-\lambda\tau} = e^{-\frac{\tau}{T_s}} \quad (6.7)$$

Більш жорстокі вимоги висуваються до регулюючої функції. Тому її надійність характеризується  $T_{\text{сер}}$  та  $T_{\text{в}}$ . Для керуючої функції розраховується імовірність безвідмовної роботи за час  $\tau$  з урахуванням відновлення за формулою:

$$P_c(\tau) = P(\tau) + [1 - P(\tau)] \cdot P_B(\tau) \quad (6.8)$$

Імовірність відновлення працездатності:

$$P_B(\tau) = 1 - e^{-\frac{T_{\text{дор}}}{T_B}} \quad (6.9)$$

Приймаємо:

$\tau=1$  місяць=720 годин;  $T_v=2$  години;  $T_{доп}=3$  години.

### 6.2.3 Розрахунок інформаційної функції.

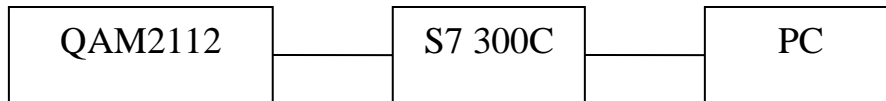


Рис.6.2. Структурна схема інформаційного каналу температури приточного повітря.

Середнє напрацювання на відмову  $T_{сер}$ :

$$T_s = \frac{1}{(8.3+10+15) \cdot 10^{-6}} = 30030, \text{ год}$$

Імовірність безвідмовної роботи  $P(\tau)$ :

$$P(\tau) = e^{-\frac{720}{30030}} = 0.9763$$

### 6.2.4 Розрахунок регулюючої функції.

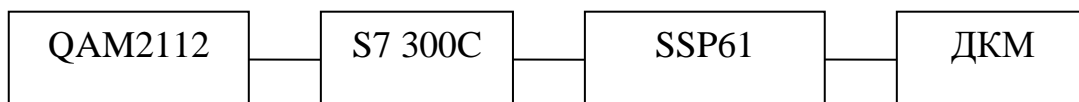


Рис.4.3 Структурна схема регулюючого каналу температури приточного повітря.

Середнє напрацювання на відмову  $T_{сер}$ :

$$T_s = \frac{1}{(15+10+13.5+0.015) \cdot 10^{-6}} = 25964, \text{ год}$$

Імовірність безвідмовної роботи  $P(\tau)$

$$P(\tau) = e^{-\frac{720}{25964}} = 0.97265$$

Імовірність відновлення працездатності  $P_B(\tau)$ :

$$P_B(\tau) = 1 - e^{-\frac{3}{2}} = 0.777$$

Імовірність безвідмовної роботи за час  $\tau$  з урахуванням відновлення  $P_c(\tau)$ :

$$P_c(\tau) = 0.97265 + (1 - 0.97265) \cdot 0.777 = 0.9939$$

Для задоволення вимог, необхідно щоб виконувалась нерівність:

$$P_k \leq P_i \quad (4.10)$$

В нашому випадку:

$$0.9763 < 0.9939$$

Розроблена САР задовольняє вимогам до надійності інформаційної і керуючої функцій.

### **6.3 Розрахунок динаміки САР. Розрахунок перехідної приміщення.**

Було наведено спрощену модель перехідної функції приміщення:

$$W(p) = \frac{K_p}{T_p p + 1}.$$

Розрахуємо, згідно з цією методикою коефіцієнти перехідної

$$K_p = [1 + M_{og}(1 - K_{og})]^{-1}$$
$$T_p = 2\sqrt{T(T - T_{og})}$$

Виходячи з розрахованого теплового опору конструкцій, приймаємо:

$$K_{og} = 0.2349$$

$$T_{og} = 2743c$$

Коефіцієнт теплообміну повітря в приміщенні

$$M_{og} = \alpha_v / c_{pv} \rho_v l_v Kp, \text{ де}$$

$Kp$  - коефіцієнт кратності теплообміну, приймаємо як  $5 \frac{\dot{v}^3}{\ddot{a} \ddot{a} \cdot \dot{v}^2}$

Коефіцієнт течії

$$\alpha_v \approx (1 + 2) Kp^{0.7}$$

$c_{pv}$  - теплоємність повітря.

$\rho_v$  - густина повітря.

$$l_v = \frac{V_p}{S_{og}} = \frac{8 \cdot 8 \cdot 3}{200 + 120} = 0.8571 \quad - \text{ узагальнений розмір приміщення, як відношення}$$

об'єму приміщення до площі огорожую цих конструкцій.

Тоді:

$$M_{og} = \frac{3.08}{1.006 \cdot 1.2047 \cdot 0.8571 \cdot 5} = 0.593$$

$$K_v = (1 + M_{og}^{-1})^{-1} = (1 + 0.593^{-1})^{-1} = 0.627$$

$$T = \left\{ \left[ Kp(1 + M_{og}) \right]^{-1} + T_{og} \right\} / (1 - K_v K_{og})$$

$$T = \left\{ \left[ 5(1 + 0.593) \right]^{-1} + 2743 \right\} / (1 - 0.627 \cdot 0.2349) = 3216.7$$

Отже:

$$K_p = \left[ 1 + 0.593 \cdot (1 - 0.2349) \right]^{-1} = 0.4878$$

$$T_p = 2 \sqrt{3216.7 \cdot (3216.7 - 2743)} = 1233.35c$$

$$\tau = 126c$$

$$W(p) = \frac{0.4878 \cdot e^{-126}}{1233.35p + 1}$$

#### 6.4 Розрахунок настройок регулятора.

Регулювання температури повітря в приміщеннях здійснюється паралельно двома системами – системою опалення та системою кондиціонування та вентиляції.

Основне навантаження, з точки зору управління, в загальній системі лягає на систему кондиціонування та вентиляції. Це зумовлене тим фактором, що в порівнянні з системою опалення вона набагато менш інерційна, а отже швидше здійснює корекцію температури при виникненні збурення. Як вже згадувалось вище, загальна система теплопостачання проектується з розрахунком на роботу в стаціонарному режимі, в якому точна настройка системи здійснюється при пусконаладжувальних роботах і в ідеалі не змінюється протягом всього періоду експлуатації. При цьому задані параметри мікроклімату в приміщеннях не міняються, або ж міняються в невеликому діапазоні. Тому основним завданням, з точки зору управління, являється оптимізація реакції системи на виникаючі в ній збурення.

Розглянемо основні чинники, що можуть внести збурення в систему при регулюванні температури повітря в приміщенні за допомогою водяного калорифера:

- Зміна температури теплої підлоги.
- Зміна температури води з акумулюючого бака в калорифері;
- Зміна температури води в охолоджуючому калорифері;
- Зміна температури зовнішнього повітря.

Найбільш суттєвим чинником збурення є система теплої підлоги.

Однак, як вказувалось вище, для нейтралізації взаємного впливу система теплої підлоги регулюється не по температурі в приміщенні, а по температурі

теплоносія. При цьому, налаштування встановлюються так, щоб вона покривала близько половини необхідної теплової потужності. Решту компенсує більш швидкодіюча система кондиціонування та вентиляції.

Збурення внаслідок зміни температури теплоносіїв в калориферах являються несистематичними і несуттєвими враховуючи велику інерційність об'єкту управління.

Температура зовнішнього повітря, незважаючи а можливість різкої зміни погоди, піддається аналізу і прогнозуванню. В багатьох системах кондиціонування реалізований блок прогнозування параметрів зовнішнього повітря залежно від кліматичного поясу, пори року, часу доби.

Перспективними є розробки модулів прогнозування, що використовують актуальні дані, наприклад, з Всесвітньої мережі.

Проаналізувавши найбільш поширені системи регулювання, було обрано систему з використанням компенсатора, для мінімізації впливу зміни температури зовнішнього повітря на температуру в приміщенні.

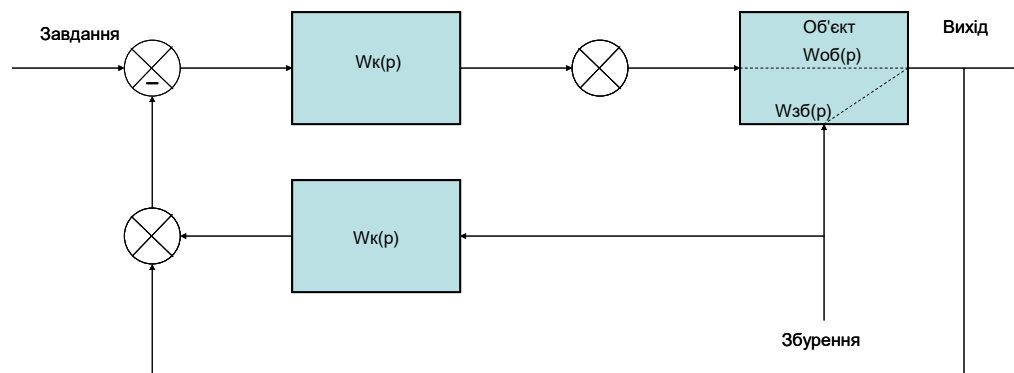


Рис.6.4 Схема САУ з компенсатором.

Компенсатором обрана реальна диференціююча ланка з перехідною функцією:

$$W_K(p) = \frac{K_D \cdot T_D \cdot p}{T_D \cdot p + 1}.$$

### Синтез ІІІ-регулятора

Виконано розрахунок параметрів з використанням методу РАФХ і двох інженерних методів: аперіодичного і з 20% перерегулюванням .

## РАФХ

Внаслідок високої інерційності об'єкта управління, до системи не висуваються строгі вимоги відносно коливальності процесу, однак суттєвим є його час проходження.

Обрано перехідний процес з  $\psi = 0,8$  та  $m = 0,32$ .

Для побудови РАФХ скористаємося формулами для ПІ-регулятора:

$$K_P = -\frac{mQ_{об}(m, \omega) + P_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)}$$

$$K_I = -\omega(m^2 + 1) \frac{Q_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)},$$

$$\text{де } K_I = \frac{K_P}{T_I}, \quad A_{об}(m, \omega) = \sqrt{P_{об}^2(m, \omega) + Q_{об}^2(m, \omega)}$$

Побудуємо границю заданого ступеня коливальності для САУ з ПІ - регулятором.



Текст програми:

```
w=0:0.0001:0.008;  
  
m=0.33;  
  
s=w.*(j-m);  
  
Wo=(0.4878*exp(-126*s))./(1233.35*s+1);  
  
Re=real(Wo);  
  
Im=imag(Wo);  
  
Kp=-(m*Im+Re)./(Im.^2+Re.^2);  
  
Ki=-w*(m.^2+1).*Im./(Im.^2+Re.^2);  
  
plot(Kp,Ki);  
  
xlabel('Kp');  
  
ylabel('Ki=Kp/Ti');  
  
grid on;
```

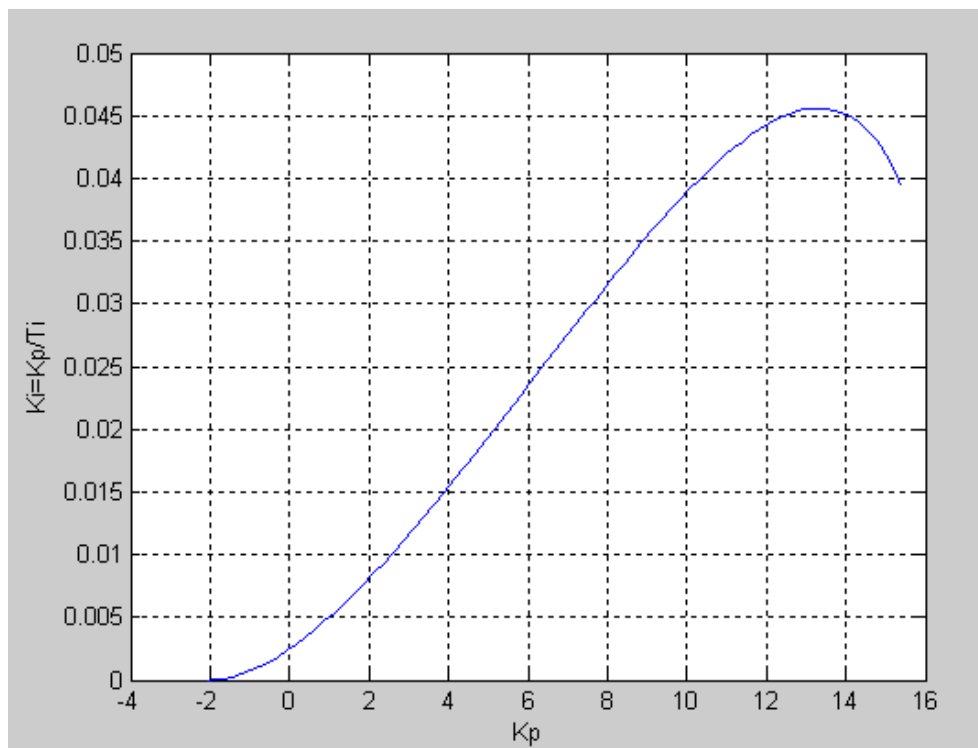


Рис. 6.5 Графік кривої заданого показника затухання

Беремо точку трохи правіше максимуму кривої і знаходимо налаштування  
 ПІ-регулятора  $K_p = 14; K_e = 0,048; \dot{O}_e = 290$ .

Аперіодичний інженерний метод

$$K_p = \frac{0.95 \cdot T_{i\dot{a}}}{\hat{E}_{i\dot{a}} \cdot \tau_{i\dot{a}}} = \frac{0.95 \cdot 1233.35}{0.4878 \cdot 126} = 19.02$$

$$\dot{O}_s = 2.4 \cdot \dot{O}_{i\dot{a}} = 2.4 \cdot 1233.35 = 2959.01$$

20% інженерний метод

$$K_p = \frac{1.2 \cdot T_{i\dot{a}}}{\hat{E}_{i\dot{a}} \cdot \tau_{i\dot{a}}} = \frac{1.2 \cdot 1233.35}{0.4878 \cdot 126} = 24.07$$

$$\dot{O}_s = 2.0 \cdot \dot{O}_{i\dot{a}} = 2.0 \cdot 1233.35 = 2466.7$$

Моделюємо замкнуту систему з знайденими налаштуваннями регулятора,  
 враховуючи, що  $W_A(s) = \frac{0.7e^{-42p}}{1233.35p+1}$ .

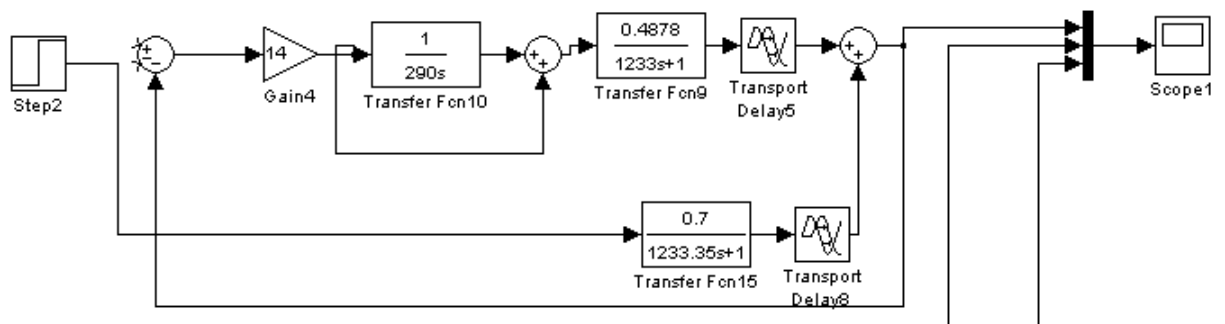


Рис.6.6 Замкнута САУ

Канал Завдання-вихід (Син.- РАФХ, Зел. – АП, Чер. – 20%):

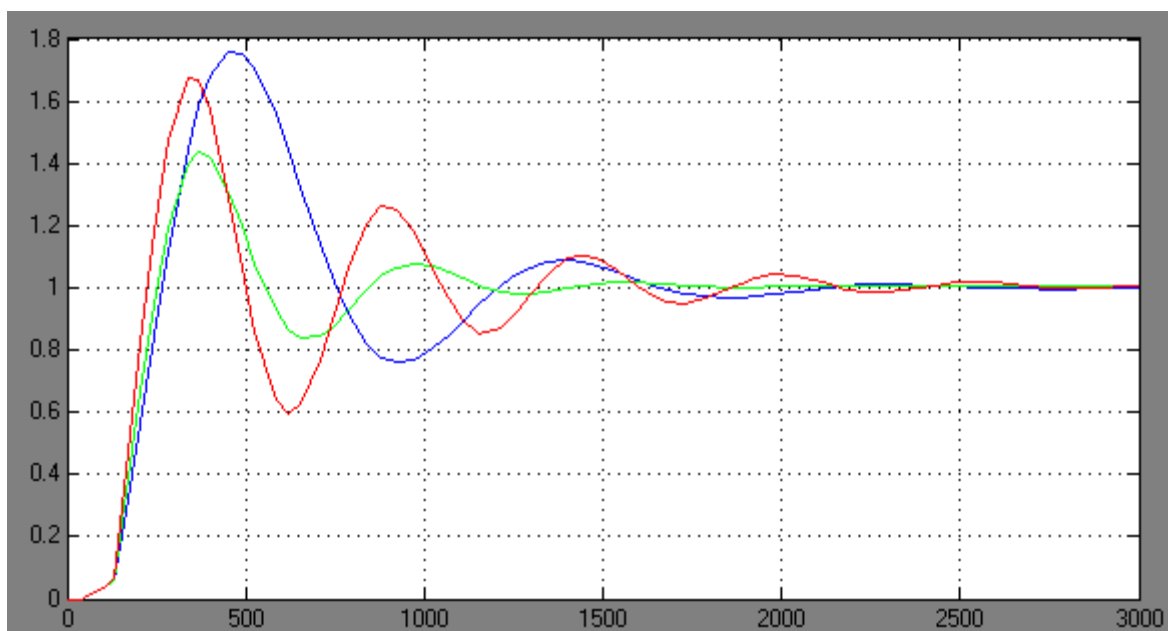


Рис. 6.7 Моделювання перехідного процесу. Канал Завдання-Вихід (Син.-  
РАФХ, Зел. – АП, Чер. – 20%).

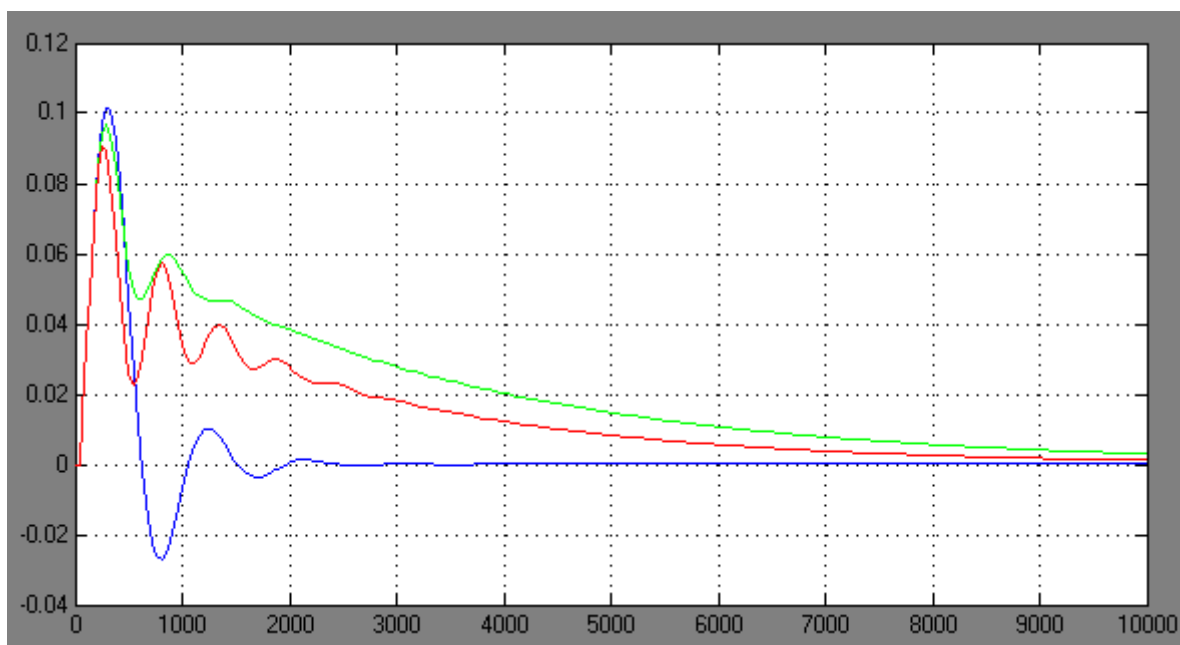


Рис. 6.8 Моделювання перехідного процесу. Канал Збурення-Вихід (Син.-  
РАФХ, Зел. – АП, Чер. – 20%).

Визначимо прямі показники якості роботи системи за розглянутими каналами:

Табл.6.3 Прямі показники роботи системи.

	Завд.- Вихід (РАФХ)	Збур.- Вихід (РАФХ)	Завд.- Вихід (Апер.)	Збур.- Вихід (Апер.)	Завд.- Вихід (20%)	Збур.- Вихід (20%)
Статична помилка	0	0	0	0	0	0
Динамічне відхилення	0.72	0.105	0.45	0.095	0.67	0.09
Час регулювання	1660	2130	1085	9100	1920	7920
Ступінь затухання	0.86	0.93	0.77	1	0.62	1
Перерегулювання	72	-	42	-	67	-

Знайдемо резонансну частоту замкнутої системи, для чого побудуємо її АЧХ:

$$W_{\text{зс}}(p) = \frac{W_p(p) \cdot W_{\text{об}}(p)}{1 + W_p(p) \cdot W_{\text{об}}(p)}.$$

Текст програми:

```
w=0:0.0001:0.02;

p=i*w;

Wo=0.4878*exp(-126*p)/(1233.35*p+1);

Wp=14*(1+1/(290*p));

W=(Wp.*Wo)/(1+Wo.*Wp);

Re=real(W);

Im=imag(W);

A2=(Re.^2+Im.^2);

plot(w,A2);

xlabel('w');
```

```
ylabel('A(w)');  
grid on;
```

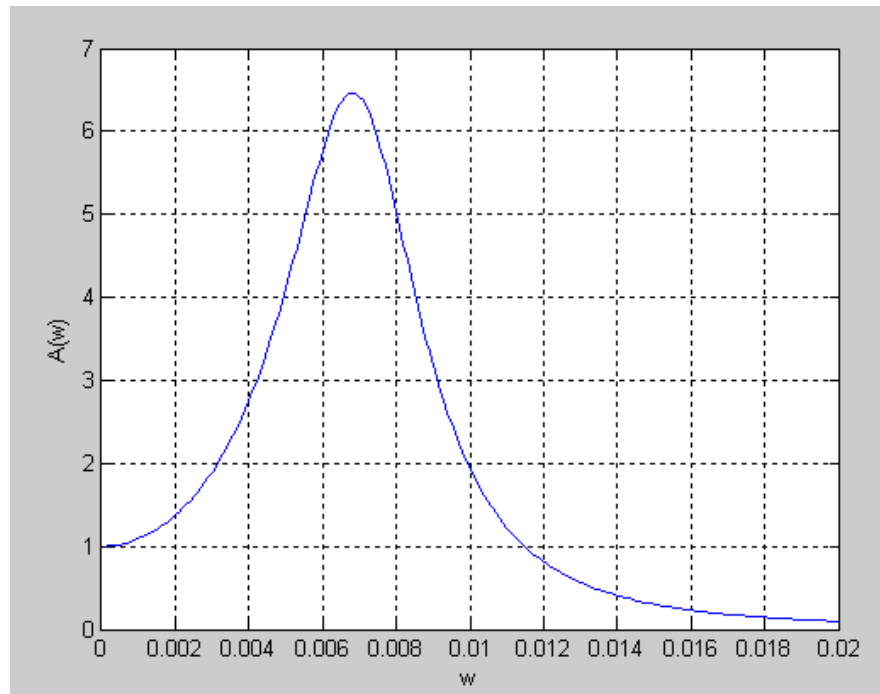


Рис. 6.9 Графік АЧХ

Резонансна частота ЗС  $\omega_{p\dot{\alpha}\zeta} = 0,0067$

Будуємо годограф ідеального компенсатора і визначаємо точку на ньому при  $\omega_{рез}$ :

$$W_K(p) = \frac{W_B(p)}{W_P(p) \cdot W_{OB}(p)}, \text{ де}$$

$$W_{\dot{A}}(s) = \frac{0,7e^{-42p}}{1233,35p+1}.$$

Текст програми:

```
w=0:0.00001:0.01;  
p=i*w;  
Wo=0.4878*exp(-126*p) ./ (1233.35*p+1);  
Wp=14*(1+1./(290*p));
```

```

Wv=0.7*exp(-42*p)/(1233.35*p+1);

W=(Wv)/(Wo.*Wp);

Re=real(W);

Im=imag(W);

pp=i*0.0067;

Wop=0.4878*exp(-126*pp)/(1233.35*pp+1);

Wpp=14*(1+1/(290*pp));

Wvp=0.7*exp(-42*pp)/(1233.35*pp+1);

Wwp=(Wvp)/(Wop.*Wpp);

Rep=real(Wwp);

Imp=imag(Wwp);

Re=real(W);

Im=imag(W);

plot(Re,Im, '-k');

hold on;

plot(Rep,Imp, 'rp');

xlabel('Re');

ylabel('Im');

grid on;

```

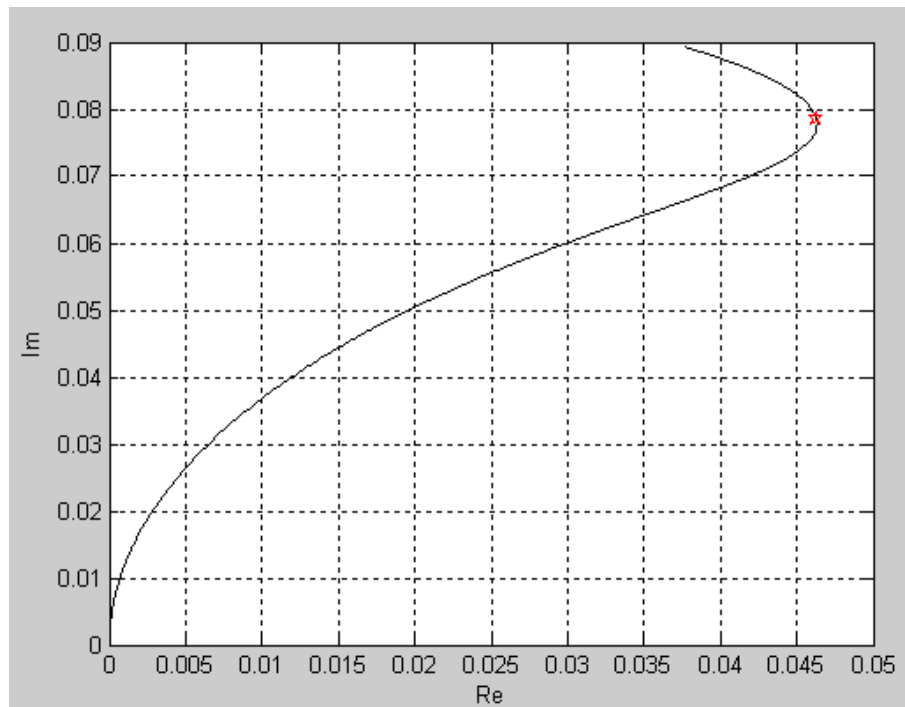


Рис. 6.10 Графік годографа ідеального компенсатора

Точка годографа при резонансній частоті знаходиться в першій чверті.  
Знайдемо амплітуду цього компенсатора при резонансній частоті:

```
w=0.0067

p=i*w;

Wo=0.4878*exp(-126*p)/(1233.35*p+1);

Wp=14*(1+1/(290*p));

Wv=0.7*exp(-42*p)/(1233.35*p+1);

Wkv=Wv/(Wp*Wo);

Re=real(Wkv);

Im=imag(Wkv);

A=(Re.^2+Im.^2).^(1/2)
```

$A = 0.0905;$

$K_d = 0.0905$

Апроксимація ідеального компенсатора РД 1-го порядку:

```

w=0:0.00001:0.05;

p=i*w;

Wo=0.4878*exp(-126*p) ./ (1233.35*p+1);

Wp=14*(1+1./(290*p));

Wv=0.7*exp(-42*p) ./ (1233.35*p+1);

W=(Wv) ./ (Wo.*Wp);

pr=i*0.0067;

Wop=0.4878*exp(-126*pr) ./ (1233.35*pr+1);

Wpp=14*(1+1./(290*pr));

Wvp=0.7*exp(-42*pr) ./ (1233.35*pr+1);

Wwp=(Wvp) ./ (Wop.*Wpp);

Rep=real(Wwp);

Imp=imag(Wwp);

Re=real(W);

Im=imag(W);

R=0.0911/2;

x=0:0.0001:(R*2);

y=sqrt((R).^2-(x-R).^2);

T1=R; T2=0;

plot(x,y,'r--',Re,Im,Rep,Imp,'k*',T1,T2,'k*');

xlabel('Re');

ylabel('Im');

grid;

```

Точка годографа при резонансній частоті знаходиться в першій чверті. Тепер будемо годограф РД (компенсатора) як півколо, що проходить через точку годографа і початок координат з центром на позитивній дійсній півосі:



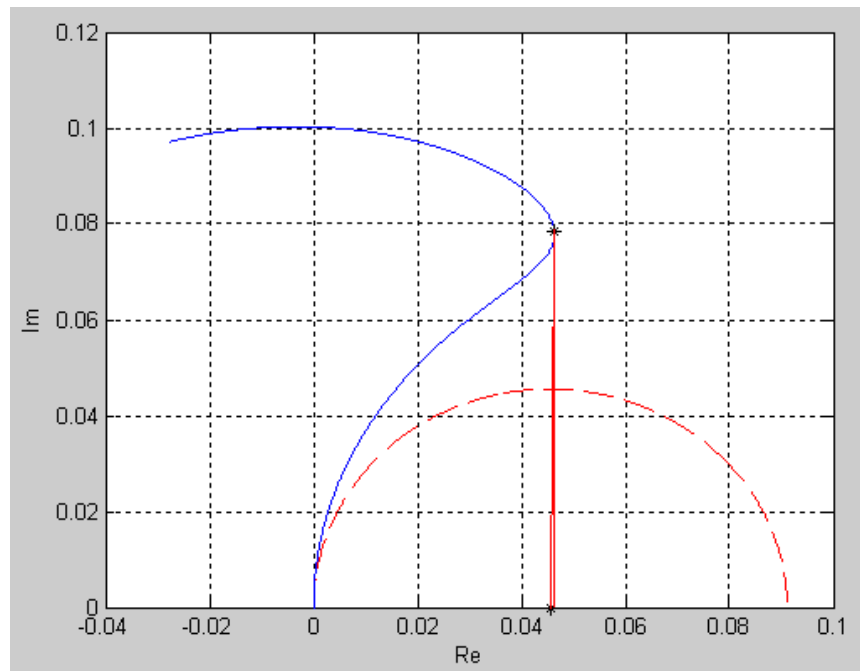


Рис. 6.11 Графік годографа РД (компенсатора)

Точку годографа при  $\omega_{рез}$  з'єднуємо з центром півкола і рахуємо  $T$  за формулою:

$$T = \frac{1}{\omega_{\partial \dot{a}_c}} \sqrt{\frac{|OC|}{|CD|}}.$$

$$|OC| = 0.047$$

$$|CD| = 0.0441$$

$$T = \frac{1}{0,0067} \sqrt{\frac{|0.047|}{|0.0441|}} = 154.02;$$

Передаточна ф-я РДЗ:

$$W_k(p) = 0.0905 \frac{154p}{154p + 1}.$$

Дослідимо розраховану комбіновану систему:

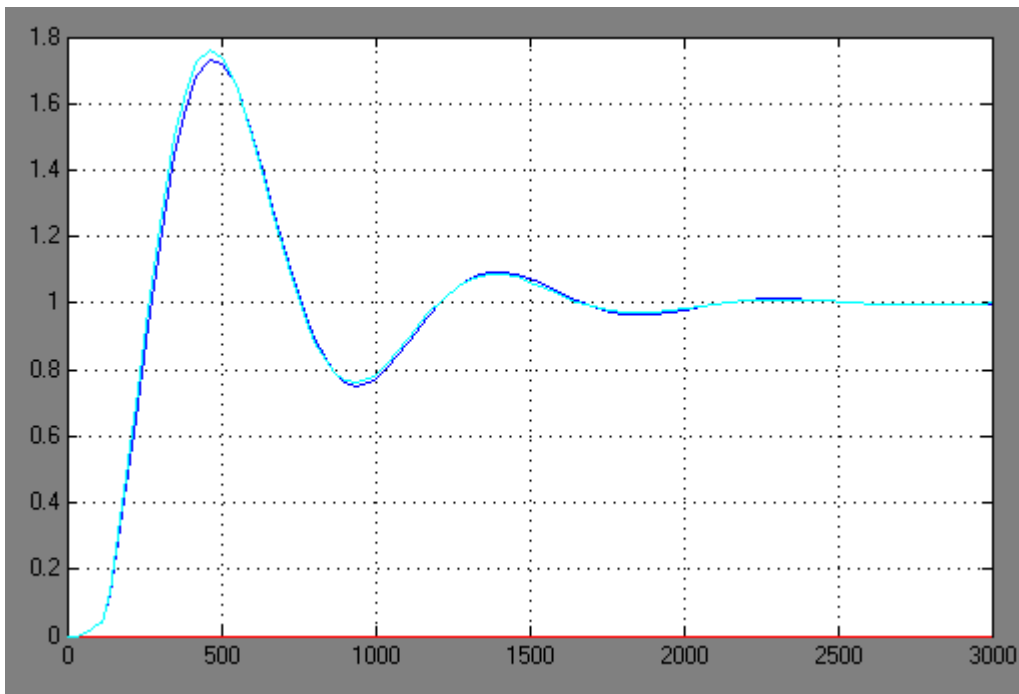


Рис. 6.12 Моделювання перехідного процесу. Канал Завдання-Вихід (Блак. – без компенсатора, Син. - з компенсатором).

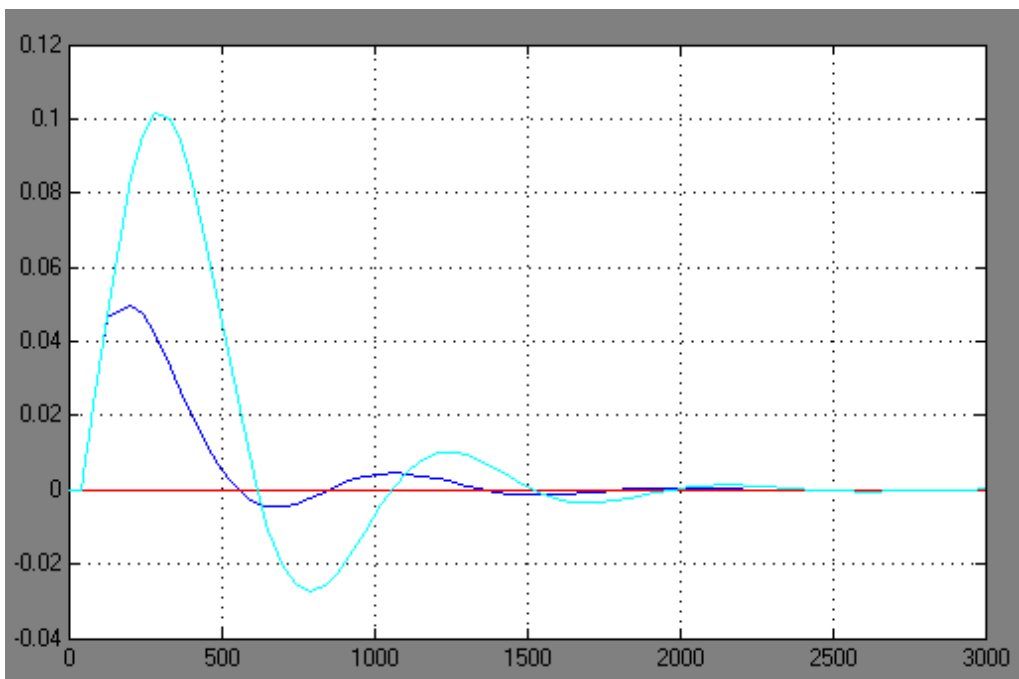


Рис. 6.13 Моделювання перехідного процесу. Канал Збурення-Вихід (Блак. – без компенсатора, Син. - з компенсатором).

Табл.6.4 Прямі показники роботи системи з компенсатором і без.

	Завд.- Вихід (без комп.)	Збур.- Вихід(без комп.)	Завд.- Вихід (з комп.)	Збур.- Вихід (з комп)
Статична помилка	0	0	0	0
Динамічне відхилення	0.76	0.108	0.73	0.049
Час регулювання	1830	1760	1850	1270
Ступінь затухання	0.77	0.83	0.75	0.92
Перерегулювання,%	76	-	73	-

Проваріюєм параметри компенсатора в межах  $\pm 20\%$ .

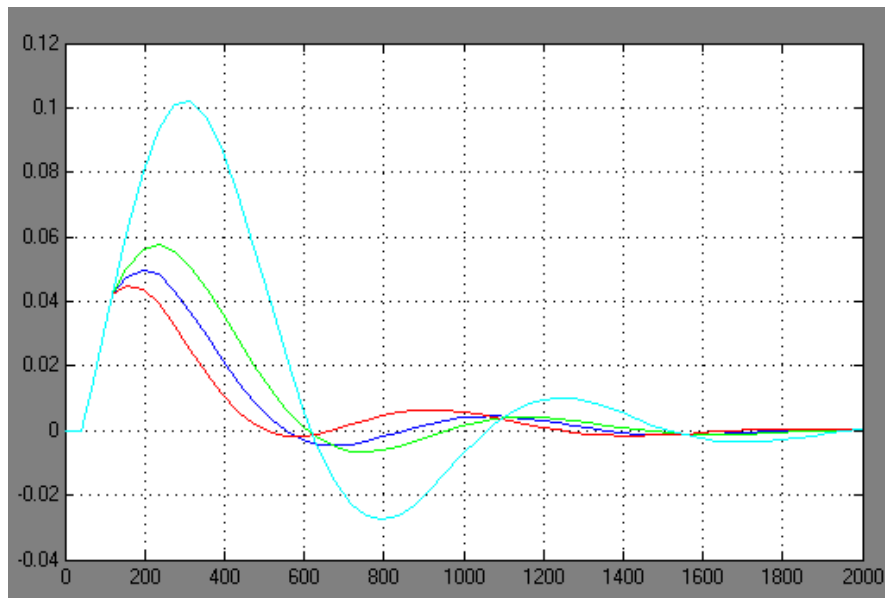


Рис. 6.14 Варіювання настройок компенсатора. Канал Збурення-Вихід (Блак. – без компенсатора, Син. –  $K=0.0905$ , Зел. –  $K=0.108$ , Чер. –  $K=0.0724$ ).

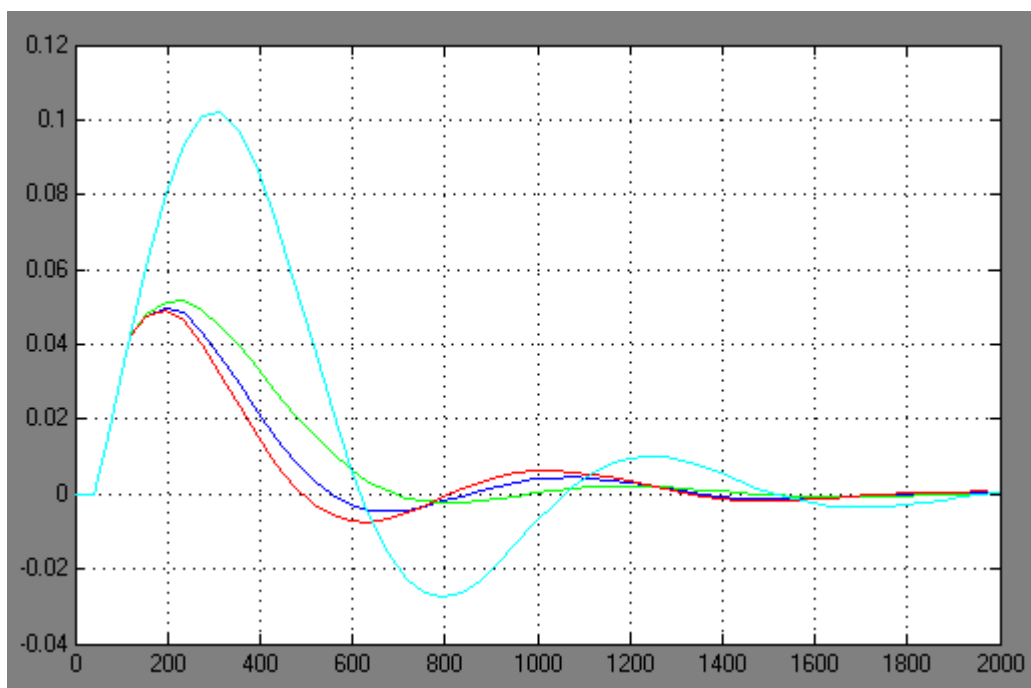


Рис. 6.15 Варіювання настройок компенсатора. Канал Збурення-Вихід (Блак. – без компенсатора, Син. –  $T=154$ , Зел. –  $T=184.8$ , Чер. –  $T=123.2$ ).

Табл.6.5 Прямі показники роботи системи при варіюванні настройок компенсатора.

Показник якості	Канал Збурення - Вихід		
	<b>K; T=154;</b>	<b>0.0905</b>	<b>0.108</b>
Статична помилка	0	0	0
Динамічне відхилення	0,044	0.051	0,059
Час регулювання	1160	1230	1250
Ступінь затухання	0.83	0.92	0.95
Перерегулювання,%	—	-	-

Показник якості	Канал Збурення - Вихід		
<b>K=0.0905; T;</b>	<b>123.2</b>	<b>154</b>	<b>184.8</b>
Статична помилка	0	0	0
Динамічне відхилення	0.052	0.051	0.05
Час регулювання	1150	1230	1240
Ступінь затування	0.91	0.92	0.94
Перерегулювання, %	—	-	-

Обрана модель компенсатора:

$$W_k(p) = 0.0905 \frac{154p}{154p + 1}.$$

По даним, отриманим в результаті моделювання можна зробити висновок про доволі високу ефективність компенсатора в даній системі: порівняно з простою одноконтурною системою динамічне відхилення зменшилось більш ніж вдвічі, а час перехідного процесу – на третину. Поставлене завдання – зменшення впливу зміни температури навколишнього середовища на температуру приміщення – даним компенсатором виконується.

## **РОЗДІЛ 7 ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ**

### **7.1 Опис функцій системи автоматизації**

Для нормального функціонування системи теплопостачання та кондиціонування повинна реалізовуватися певна технологія, що забезпечує підтримку необхідного мікроклімату в приміщенні. Для цього розробляються алгоритми роботи за показниками датчиків температури, вологості, тиску, величин струмів, напруги на елементах керування і т.д. Реалізація алгоритмів здійснюється виконавчими й захисними елементами (електродвигуни, клапани, заслінки та ін.).

Таким чином, система автоматичного керування повинна виконувати наступні функції:

- керуючі (включення, вимикання, затримки, підтримка комфортних умов при мінімальних експлуатаційних витратах);
- захисні (відключення при аваріях, попередження ушкоджень установки);

Основними величинами, що регулюються в системі є температура та вологість повітря в кімнатах будинку, а також температура води в системі гарячого водопостачання.

Нижче наведено опис цих функцій для трьох основних підсистем:

#### **7.1.1 Кондиціонування**

Система кондиціонування основана на центральному кондиціонері з дворежимним управлінням комбінованим принципом (кількісно-якісним).

Керуючі функції системи кондиціонування

В залежності від середньої температури навколишнього середовища (або при ручному переведенні) відбувається перехід системи на один з двох режимів управління:

- ЗИМА
- ЛІТО

В режимі **ЗИМА** регулювання системи відбувається виходячи з того, що навколишнє повітря потрібно догрівати до встановленого рівня. Оскільки при нагріві вологість повітря знижується, також необхідне його зволоження.

#### **Головні канали управління:**

Температура повітря в контрольному приміщенні за показаннями контрольного термометра – регулюється подачею теплоносія з акумулюючого бака в водяний калорифер за допомогою трьохходового клапана.

Вологість повітря в контрольному приміщенні за показаннями контрольного датчика вологості – регулюється зміною продуктивності парогенератора.

#### **Резервний канал:**

Якщо температура зовнішнього повітря опускається до  $-20^{\circ}\text{C}$  то водяний калорифер може не справитись з навантаженням. В такому випадку додатково включається електрокалорифер.

Температура повітря в контрольному приміщенні за показаннями контрольного термометра – регулюється потужність електрокалорифера (кількість включених секцій, скважність включення).

#### **Додаткові канали управління:**

Тиск повітря в каналі за показаннями каналного датчика тиску – регулюється зміною частоти обертання приточного вентилятора за допомогою

частотного перетворювача. Витяжний вентилятор встановлюється на таку саму частоту.

В режимі ЛІТО регулювання системи виходить з того, що зовнішнє повітря необхідно охолодити і осушити, щоб довести до комфортних параметрів.

### **Головні канали управління:**

Температура повітря в контрольному приміщенні за показаннями контрольного термометра – регулюється потужність електрокалорифера (кількість включених секцій, скважність включення).

Вологість повітря в контрольному приміщенні регулюється опосередковано через зниження температури повітря до заздалегідь розрахованої температури. При цьому відбувається конденсація надлишкової вологи. Далі електрокалорифер доводить температуру повітря до заданої, а вологість входить в зону комфортних параметрів.

### **Резервний канал:**

При виникненні відхилення показників вологості від заданої, відбувається дозволення повітря парогенератором.

Вологість повітря в контрольному приміщенні за показаннями контрольного датчика вологості – регулюється зміною продуктивності парогенератора.

### **Додаткові канали:**

Температури повітря після охолоджувача за показаннями датчика температури після охолоджувача - регулюється зміною витрати холодоносія в охолоджувачі за допомогою трьохходового клапана.



## **Винесені канали:**

Для зменшення завантаження контролера, функція регулювання температури в приміщеннях окрім контрольного, перенесена на кімнатні терморегулятори.

Температура в приміщеннях за показаннями кімнатних терморегуляторів – регулюється за допомогою зміни витрати повітря в приміщенні зміною положення заслінок притоку і витоку в кожному приміщенні. Керуючий сигнал виробляється безпосередньо самими терморегуляторами. Для підтримки сталої витрати повітря по всіх каналах, здійснюється контроль тиску повітря в головному каналі.

Також до керуючих функцій відносяться послідовність запуску і зупинки системи кондиціонування.

### **Послідовність запуску системи кондиціонування**

Для забезпечення нормального пуску кондиціонера необхідно дотримувати наступної послідовності:

- **Попереднє відкриття повітряних заслінок**

Попереднє відкриття повітряних заслінок до пуску вентиляторів виконується у зв'язку з тим, що не всі заслінки в закритому стані можуть витримати перепад тисків, створюваний вентилятором, а час повного відкриття заслінки електроприводом доходить до 2 хв.

- **Рознесення моментів запуску електродвигунів**

Асинхронні електродвигуни мають більші пускові струми. Якщо одночасно запуснути вентилятори, циркуляційні насоси й інші приводи, то через велике навантаження на електричну мережу будинку сильно впаде напруга, і електродвигуни можуть не запуститися. Тому запуск електродвигунів необхідно розносити за часом.

- Попередній прогрів калорифера

Якщо включити кондиціонер, не прогрівши водяний калорифер, то при низькій температурі зовнішнього повітря може спрацювати захист від заморожування. Тому при включенні кондиціонера необхідно відкрити заслінки приточного повітря, відкрити триходовий клапан водяного калорифера й прогріти калорифер. Як правило, ця функція включається при температурі зовнішнього повітря нижче 12 °С.

Час запуску в літній період становить 30-40 с, у зимовий - до 2 хв.

Послідовність зупинки системи кондиціонування

- Затримка зупинки вентилятора приточного повітря

В установках з електрокалорифером необхідно після зняття напруги з електрокалорифера прохолоджувати його якийсь час, не виключаючи вентилятор приточного повітря. В протилежному випадку нагрівальний елемент калорифера (тепловий електричний нагрівач - ТЕН) може вийти з ладу.

- Затримка закриття повітряних заслінок

Повітряні заслінки закриваються повністю тільки після зупинки вентиляторів. Так як вентилятори зупиняються із затримкою, то і повітряні заслінки закриваються із затримкою.

### **Захисні функції системи кондиціонування:**

Захист від перегріву електрокалорифера

В центральному каналі встановлюється датчик потоку повітря й датчик перегріву калорифера. При відсутності потоку повітря електрокалорифер вийде з ладу через 10-15с, тому для його захисту встановлюється датчик потоку. Крім цього, у калориферах, як правило, встановлюють два термостати:

- термостат захисту від перегріву із самоповерненням (температура спрацьовування 50 °C);
- термостат захисту від загоряння з ручним поверненням (температура спрацьовування 150 °C).

Перший термостат спрацьовує оборотно, тобто після того, як температура повітря за електрокалорифером знизиться до 40 °C, калорифер увімкнеться знову. Однак, якщо таке вимикання трапиться 4 рази протягом 1 години, то відбудеться аварійне відключення системи. При спрацьовуванні другого термостата система відключиться, включити її повторно можна буде тільки вручну після усунення несправності.

#### Захист від запиленості фільтра

Контроль запиленості фільтра оцінюється падінням тиску на ньому, яке вимірюється диференціальним датчиком тиску. Датчик вимірює різницю тисків повітря до і після фільтра. Допустиме падіння тиску на фільтрі вказується в його паспорті (звичайно 150-300 Па). Це значення встановлюють при налагодженні системи на диференціальному датчику тиску (уставка датчика). Коли падіння тиску досягає значення уставки, від датчика надходить сигнал про граничну запиленості фільтра й необхідності його обслуговування або заміни. Якщо протягом 24 годин після видачі сигналу граничної запиленості фільтр не буде очищений або замінений, відбудеться аварійна зупинка системи.

#### Захист від несправності вентилятора

Аналогічні датчики встановлюються на вентиляторах. Якщо вийде з ладу вентилятор або ремінь приводу вентилятора, то система буде зупинена в аварійному режимі.

Захист водяного калорифера від замерзання.

Причиною можливого замерзання води в трубах є ламінарний рух води при від'ємній температурі зовнішнього повітря й переохолодженні води в апараті. Наприклад, при діаметрі трубки теплообмінника 2,2см і середній швидкості води меншій 0,1 м/с швидкість води в стінки практично дорівнює нулю. Внаслідок малого термічного опору трубки температура води в стінки наближається до температури зовнішнього повітря. Особливо схильна до замерзання вода в першому ряді трубок з боку потоку зовнішнього повітря.

Для захисту від замерзання відбувається перевірка температури зворотного теплоносія в калорифері. При температурі зворотного теплоносія меншій за 20°C і температурі зовнішнього повітря меншій за 3°C відбувається переведення управління трьохходовим клапаном калорифера в ручний режим і повне його відкриття. При цьому швидкість потоку опускається до мінімально встановленого. Після стабілізації температури зворотного теплоносія, система повертається до робочого режиму.

### **7.1.2 Опалення**

Система опалення основана на використанні технології теплої підлоги. Як вказувалось вище, цей вибір зумовлений кращими показниками розподілення температурного градієнта в приміщенні в порівнянні з використанням опалювальних радіаторів. А також особливістю системи теплозабезпечення. Генераторами тепла в даній системі опалення виступають тепловий насос і ТЕН. Оскільки середня температура на виході ТН становить порядку 60°C, необхідно було б опалювальні радіатори великої площі для забезпечення необхідного температурного режиму, що являється економічно не вигідним.

### **Керуючі функції системи опалення:**

Головні параметри, що регулюються системою опалення – це температура теплої підлоги в контрольному приміщенні і температура води в акумуляторному баку. Особливий режим функціонування теплового насосу накладає суттєві обмеження на систему керування.

### **Головні канали управління:**

Температура води в акумуляторному баку за показаннями датчика температури в баку – регулюється часом включення/виключення теплового насосу. Включення відбувається в встановлені години доби. Тепловий насос нагріває воду в акумуляторному баку дещо вище встановленої уставки для створення запасу теплоти.

Температура теплої підлоги за показаннями датчика в контрольному приміщенні, датчика температури до і після теплої підлоги – регулюється зміною теплоносія за допомогою трьохходового клапана. На етапі проектування розраховується скільки теплоти має віддати тепла підлога приміщенню. Даний показник підтримується по даним датчиків температури до і після теплої підлоги, а також витратоміра теплоносія.

### **Резервні канали управління:**

Якщо після планового припинення роботи теплового насосу температура води в баку не досягла встановленого рівня, або при виході її за мінімально допустиму межу, включається додатково ТЕН в акумуляторному баку.

Температура води в акумуляторному баку за показаннями датчика температури в баку – регулюється потужність ТЕН (кількість включених секцій, скважність включення).

### **Додаткові канали управління:**

Рівень води в акумуляторному баку по датчику рівня в акумуляторному баку – регулюється відкриттям/закриттям клапана підживлення.

Витрата води в розподільчому каналі по датчику витрати в каналі – регулюється зміною потужності циркуляційного насосу за допомогою частотного перетворювача.

### **7.1.3 ГВП**

Система ГВП в основі своїй має замкнутий магістральний трубопровід з циркуляційним насосом внаслідок обмеження на висоту стояків.

### **Керуючі функції системи опалення:**

Головним нагрівальним елементом являється сонячний колектор, встановлений на даху будівлі. Однак внаслідок невисокої надійності і стабільності кількості тепла, що генерується ним, відбувається підтримка ТЕНом в баку ГВП і відбором тепла з системи опалення.

### **Головні канали управління:**

Температура води в баку ГВП за показаннями датчика температури в баку ГВП – регулюється включенням/виключенням циркуляційного насосу сонячного колектора. В робочому режимі сонячний колектор працює всю світлу частину доби, створюючи запас теплоти в баку ГВП.

Рівень води в баку ГВП за показаннями датчика рівня в баку ГВП – регулюється відкриттям/закриттям живильного клапана.

### **Резервні канали управління:**

В темну частину доби підтримка температури в баку ГВП відбувається за допомогою відбору теплоти системи опалення. При необхідності включається також ТЕН в баку ГВП.

Температура води в баку ГВП за показаннями датчика температури в баку ГВП – регулюється відкриттям/закриттям клапанів з системи опалення.

Температура води в баку ГВП за показаннями датчика температури в баку ГВП – регулюється потужність ТЕН (кількість включених секцій, скважність включення).

### **7.3 Опис імітаційної моделі системи.**

Імітаційна модель системи теплопостачання та кондиціонування створена в середовищі MatLab для можливості безпосередньої перевірки працездатності програмного забезпечення локального і супервізорного рівня без необхідності роботи з реальним обладнанням. До моделі висувались вимоги достатньої точності відображення перехідних процесів, що відбуваються в системі при збереженні допустимої простоти для зменшення обчислювального навантаження.

В моделі відображені особливості перехідних процесів основних параметрів робочих середовищ. Структурно модель розподілена на три частини відповідно до підсистем – вентиляція, опалення і ГВП.

Нижче описані блоки за визначеним розподіленням.

## Вентиляція

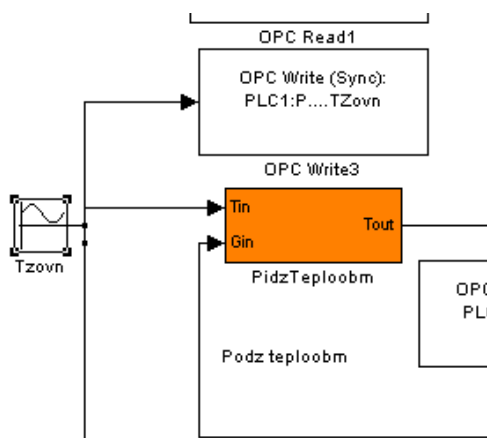


Рис.7.1 Підземний теплообмінник.

Робота практично всієї системи відштовхується від значення температури зовнішнього повітря, що імітується синусоподібним сигналом з низькою частотою ( $\frac{2\pi}{24 \cdot 3600} = 0,0000726c^{-1}$ ). Далі повітря проходить через підземний повітропровід. Температура ґранту на глибині до 1 м міняється значно в менших межах ніж повітря. Тому в літньому режимі повітря охолоджується, в зимовому нагрівається. Даний простий і відносно недорогий метод дозволяє змінити температуру приточного повітря на декілька градусів. При моделюванні приймалось значення температури ґрунту в 10°C.

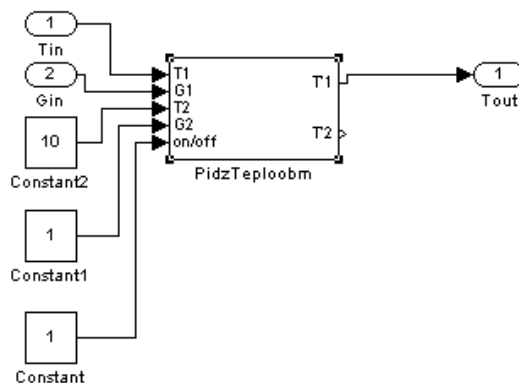


Рис.7.2.Внутрішня реалізація підземного теплообмінника.



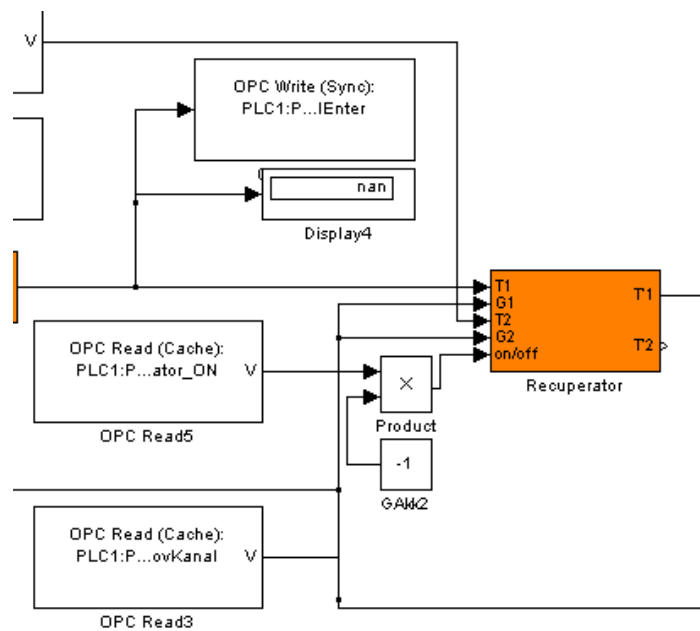


Рис.7.3 Рекуператор.

Рекуператор здійснює підігрів або охолодження приточного повітря за рахунок повітря, що видаляється з приміщення. Змішування потоків при цьому не відбувається. Використання рекуператора значно збільшує ефективність функціонування системи кондиціонування і вентиляції, однак ускладнює регулювання всією системою в цілому.

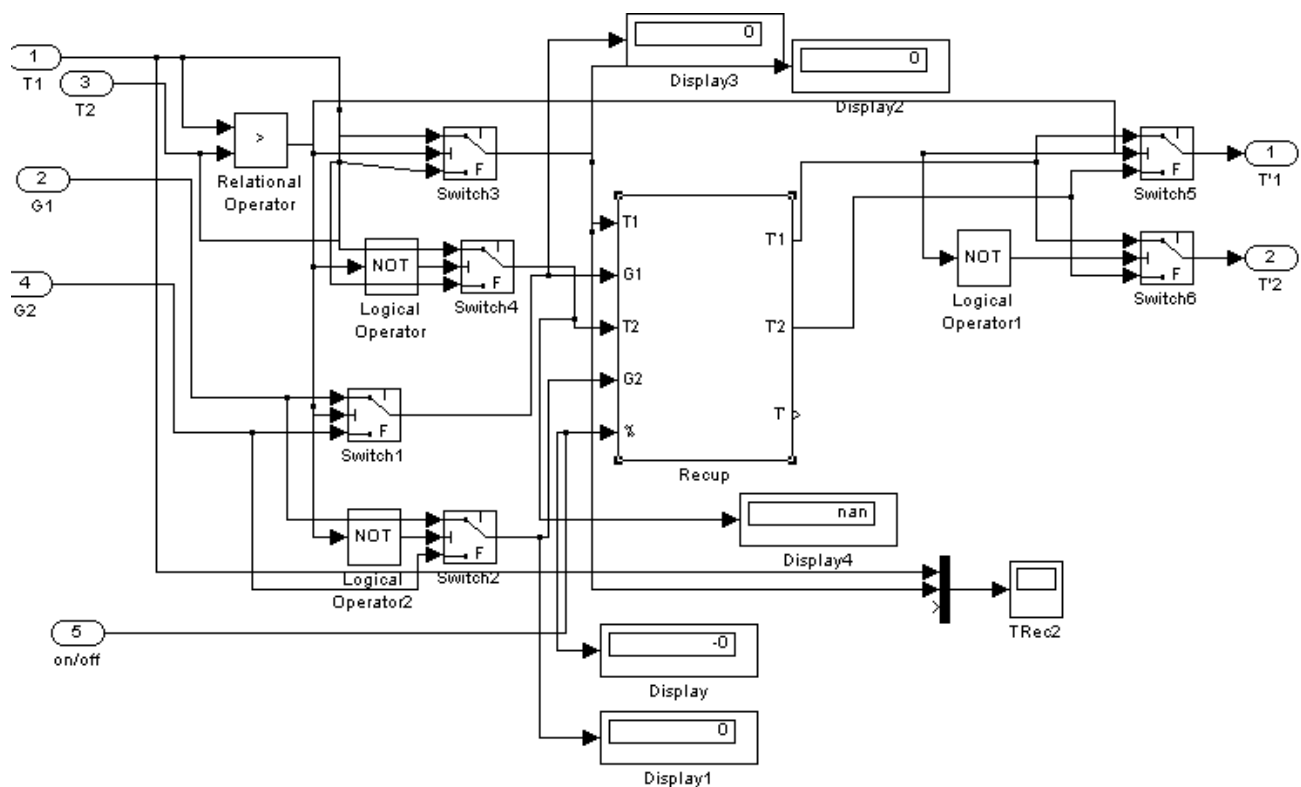


Рис. 7.4 внутрішня структура блоку Рекуператор.

В залежності від відношення температур приточного і витяжного повітря, відбувається нагрів або охолодження першого.

Водяний калорифер

В ньому відбувається теплообмін між приточним повітрям і водою з системи опалення в літній період.

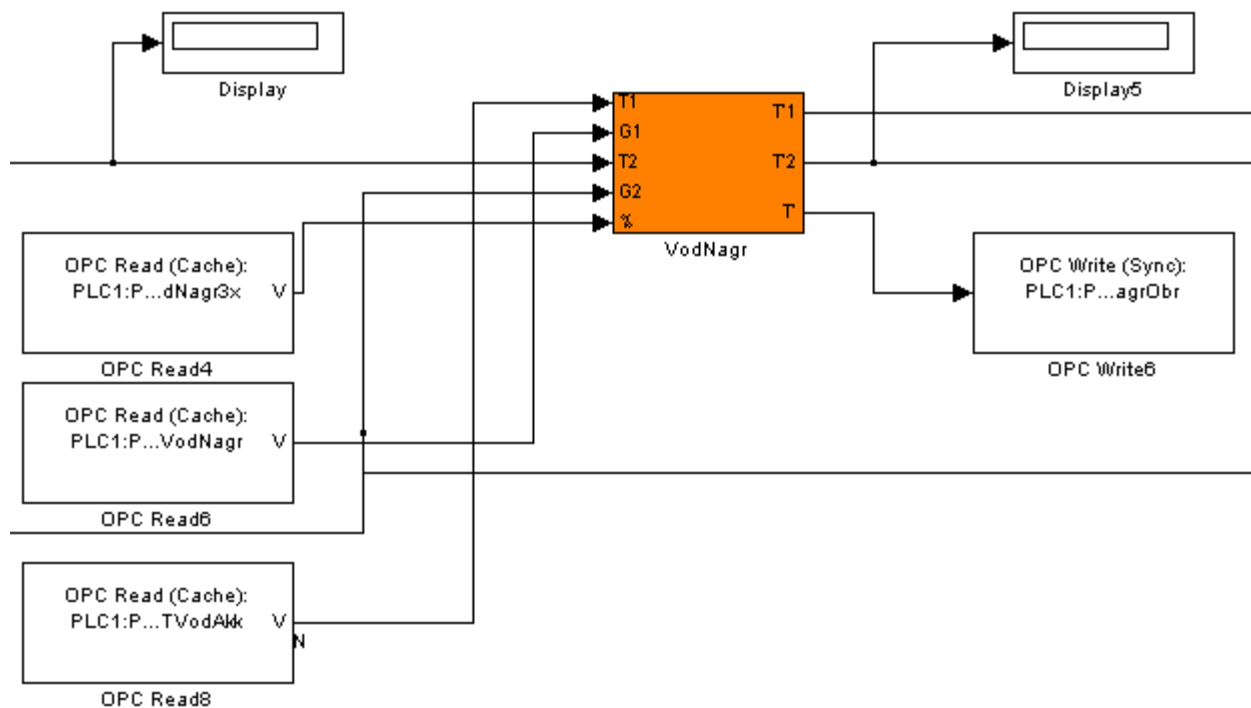


Рис.7.5 Водяний калорифер.

Розрахування температури теплоносія і повітря на виході з калорифера відбувається методом пропорцій їх температур і витрат з урахуванням відповідних коефіцієнтів корисної дії калорифера і поправочним коефіцієнтом відношення теплоємностей обох середовищ.

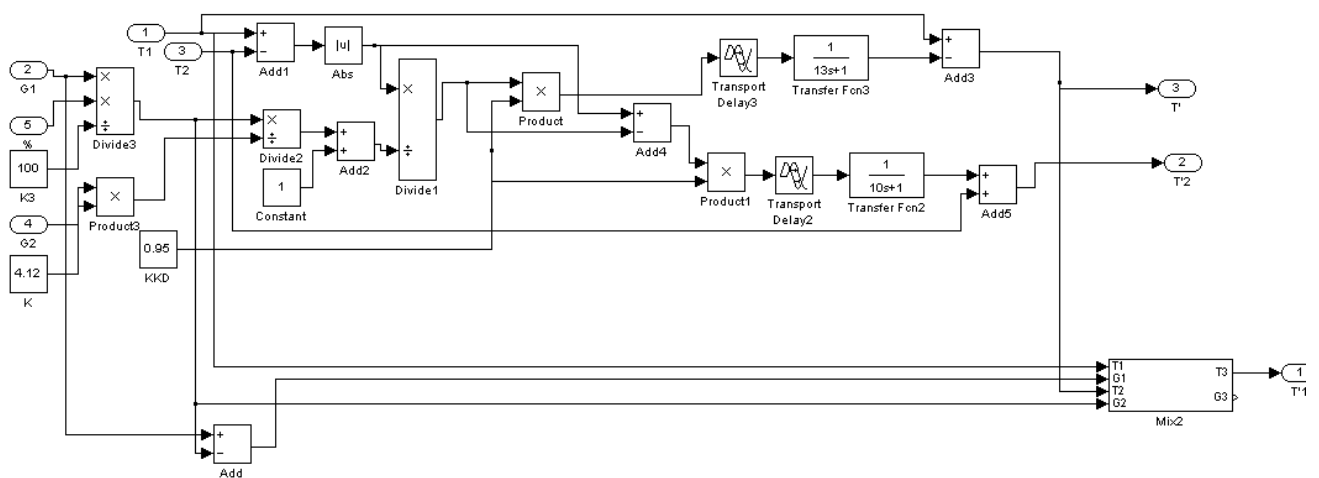


Рис.7.6 Внутрішня реалізація блоку Водяний калорифер.

В склад моделі також входить імітація трьохходового клапана. В залежності від його положення змінюється значення температури повітря, а також теплоносія після калорифера і на вході в систему опалення.

Нижче наведений приклад зміни температури повітря і теплоносія на виході з калорифера після включення установки.

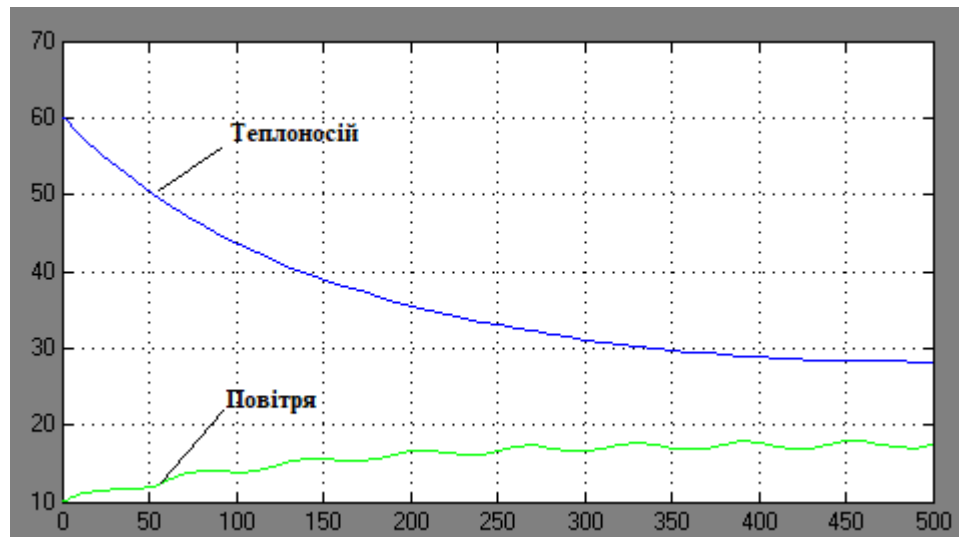


Рис.7.7 Графік зміни температури повітря і теплоносія на виході з калорифера.

#### Водяний охолоджувач

В водяному охолоджувачі повітря в літній період охолоджується до температури насичення для видалення надлишкової вологи. Теплоносієм є холодна вода з мережі. Водночас система передбачає змогу невеликого удосконалення, що дасть змогу використовувати тепловий насос для охолодження води з мережі.



Електрокалорифер здійснює нагрів повітря після охолоджувача в літній період. Управління ним здійснюється нормованим сигналом 0..10В. В самому ж електрокалорифері є 3 блоки нагріву з приблизно однаковою потужністю.

Включення блоків відбувається по мірі зростання управляючого сигналу за допомогою ШИМ-модуляції.

Врахування впливу протяжності повітропроводів на транспортне запізнення зміни температури повітря закладено в самих структурних блоках системи.

## Опалення

### Тепловий насос

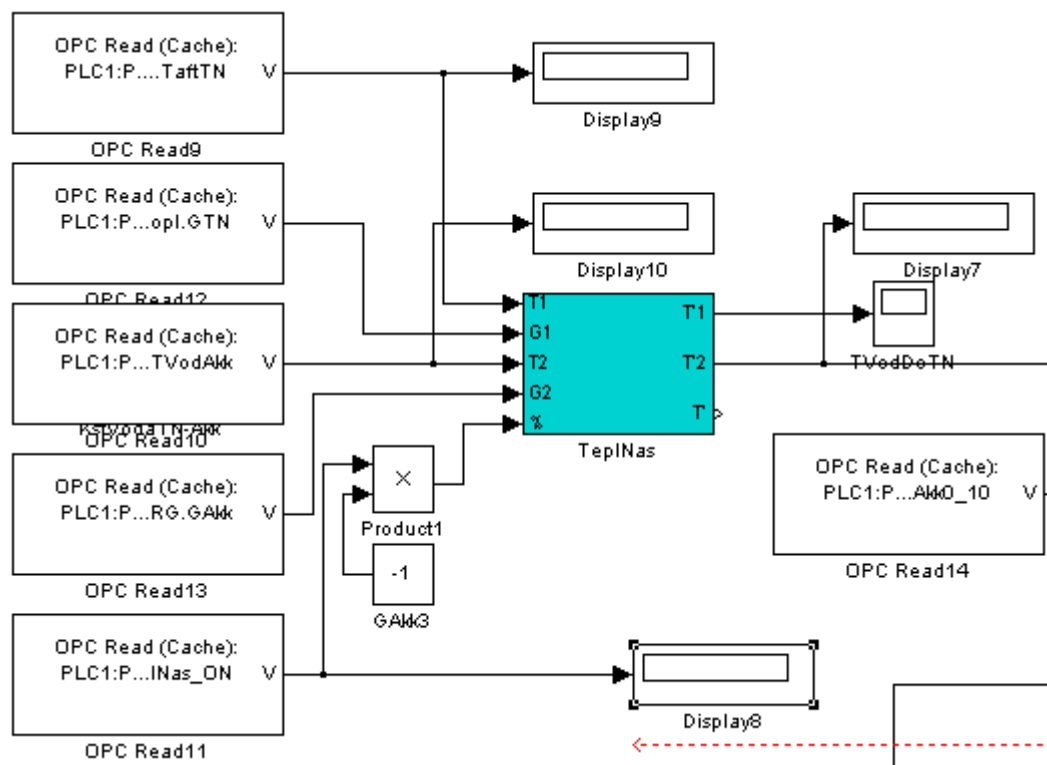


Рис.7.10 Тепловий насос.

Моделювання теплового насосу відбувалось виходячи з припущення відносної стаціонарності його роботи, адже температура ґрунту за глибини прокладення труб колектора практично не змінюється протягом року. Структурно модель теплообміну між теплоносієм теплового насосу і води в акумуляторному баку подібна до реалізації стандартного теплообмінника, водночас з урахуванням того, що вода в баку обтікає трубки теплообмінника з меншою швидкістю.

## ТЕН

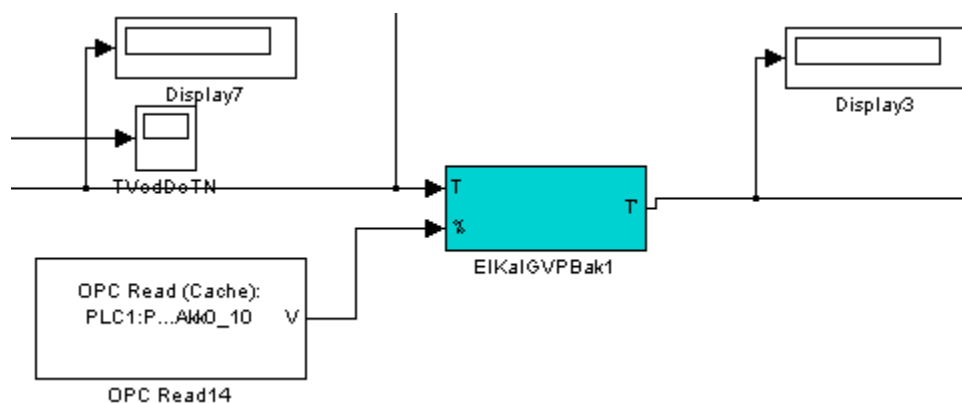


Рис.7.11 ТЕН системи опалення.

ТЕН реалізований подібно до електрокалорифера системи кондиціонування, однак, на відміну від останнього, три секції ТЕН включаються не послідовно в нагрів, а паралельно для забезпечення однорідності градієнта нагріву води в баку.

## Тепла підлога

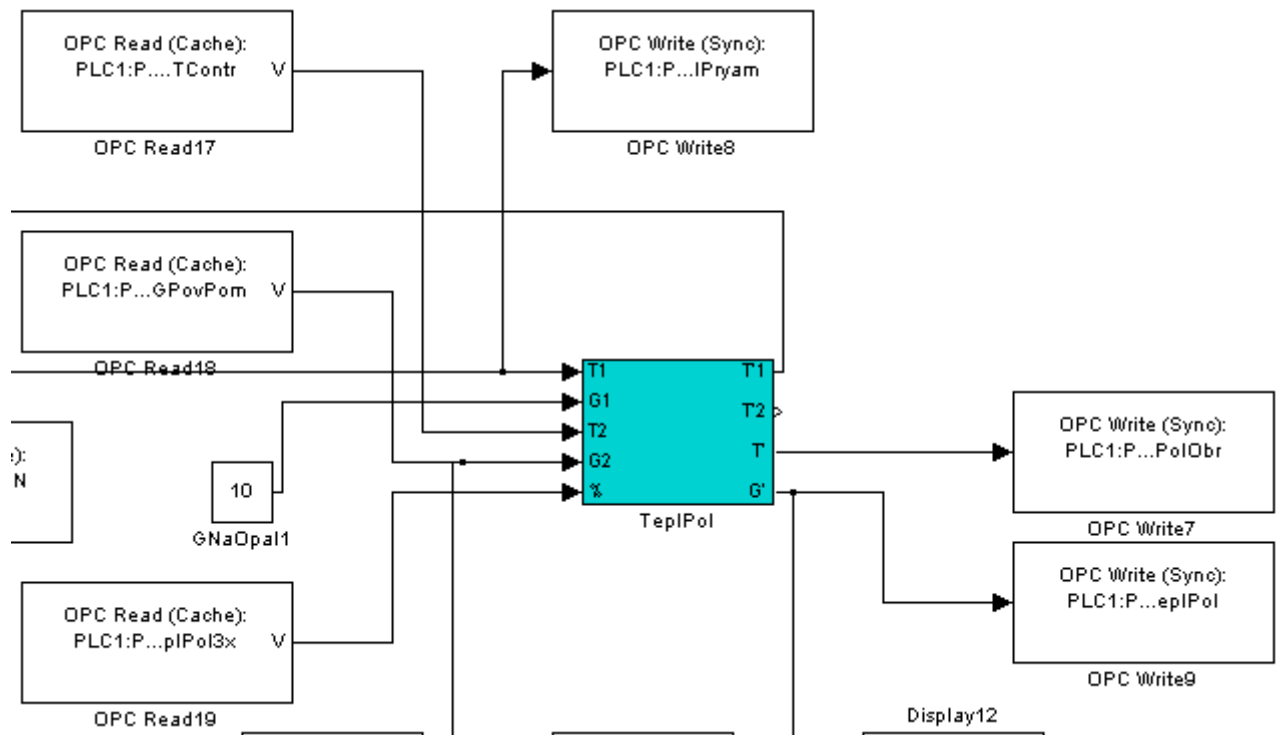


Рис.7.12 Тепла підлога.

Температура, по якій здійснюється регулювання положенням трьохходового клапана імітується з врахуванням теплоємності огорожуючи конструкції і їхнього опору. Також вираховується температура на вході і виході колектора для врахування відданої теплоти.



## Змішування зворотних потоків

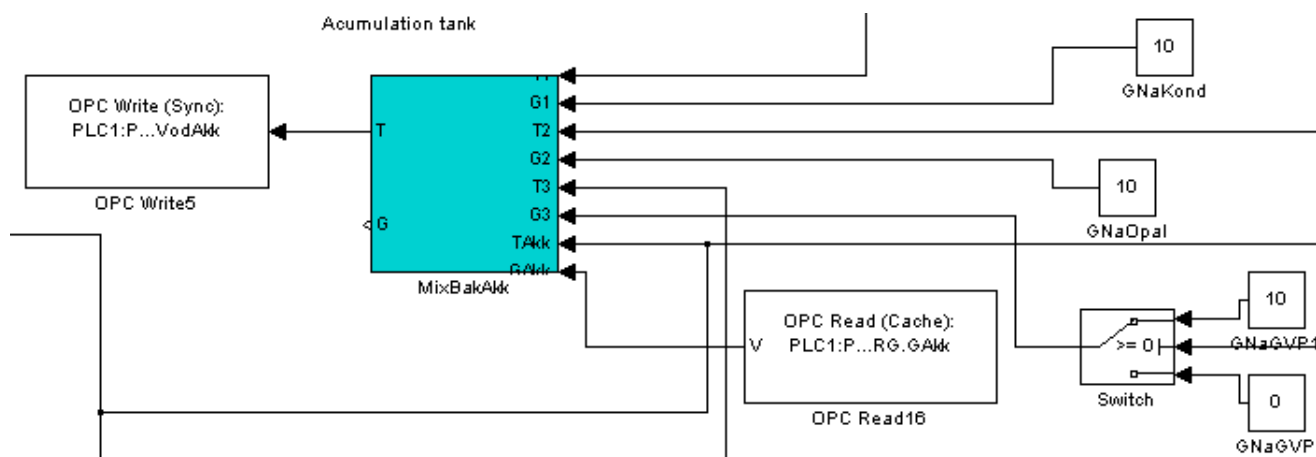


Рис.7.13 Змішування зворотних потоків.

Даний блок імітує змішування зворотних потоків теплоносія від системи кондиціонування, ГВП і безпосередньо теплої підлоги.

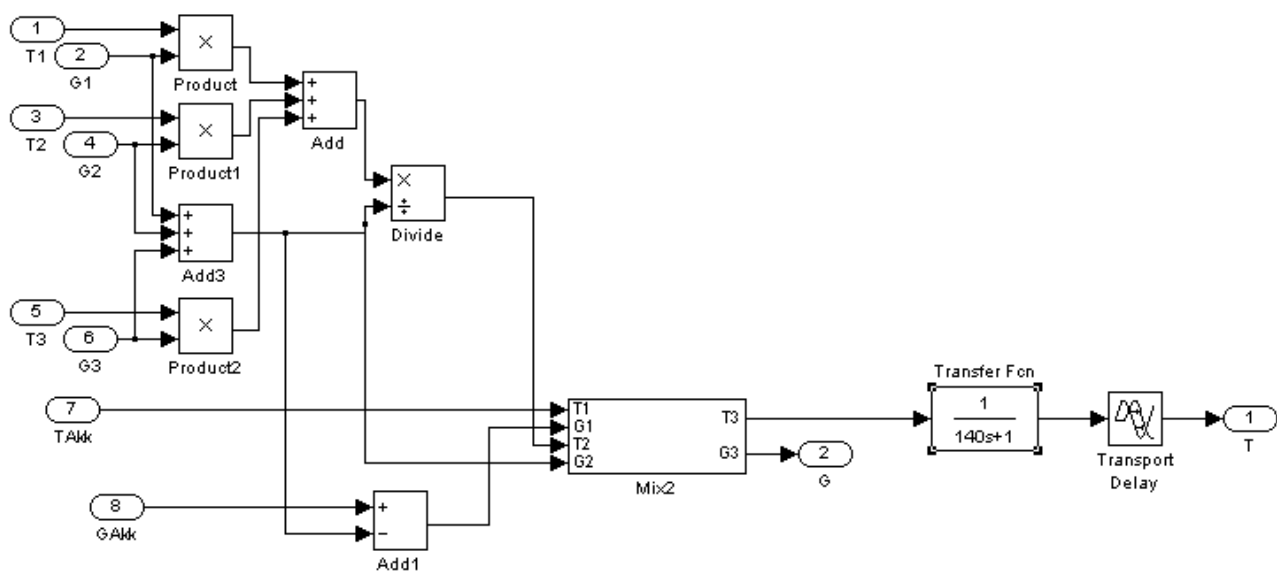


Рис.7.14 Внутрішня реалізація блоку змішування.

Зворотний теплоносій поступає в акумуляторний бак і змішується з загальною масою. Водночас така ж кількість теплоносія забирається циркуляційними насосами.

## ГВП

### Сонячний колектор

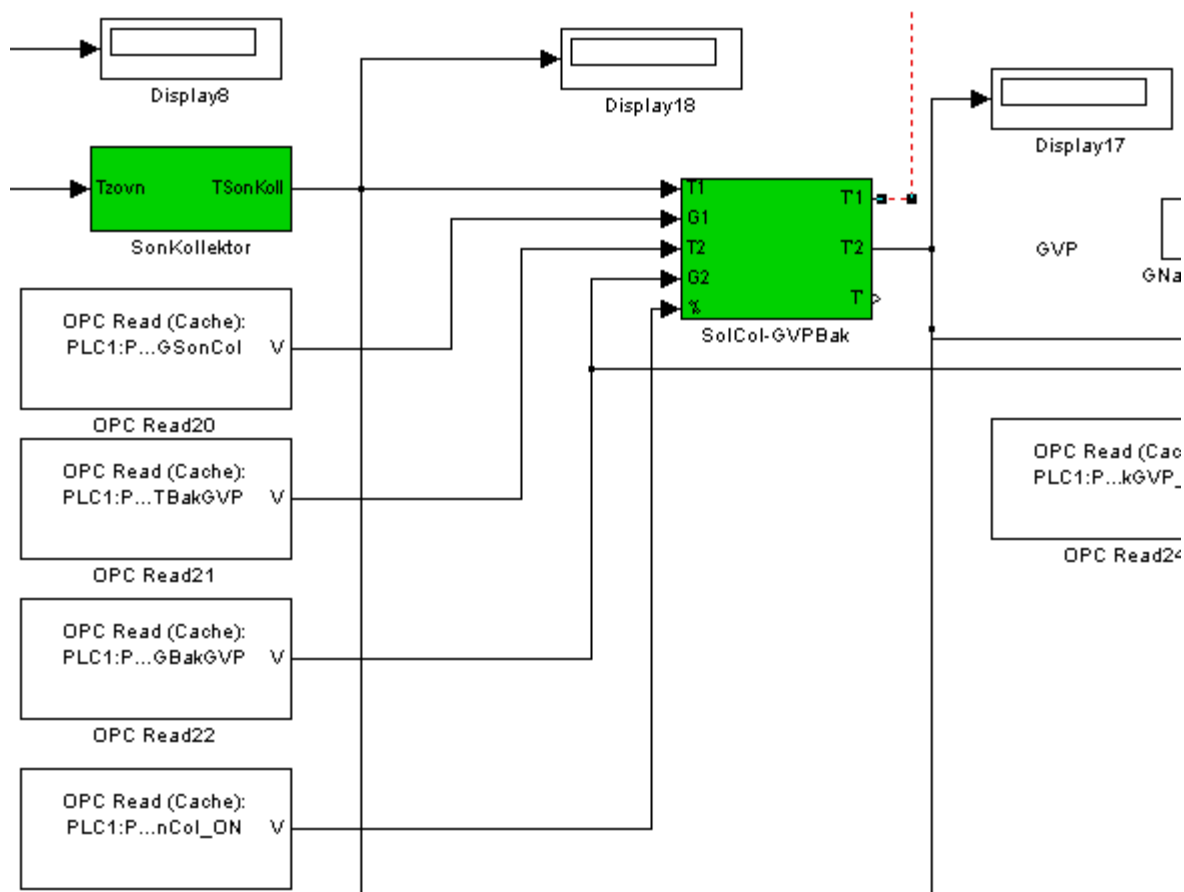


Рис.7.15 Сонячний колектор і теплообмінний апарат в баку ГВП.

Сонячний колектор являється основним джерелом тепла для системи гарячого водопостачання, водночас для компенсації нестабільності цього джерела бак ГВП має дещо більшу місткість порівняно з аналогічними баками класичних систем ГВП. Вода з сонячного колектора поступає в теплообмінник баку ГВП.

## Відбір теплоти з системи опалення

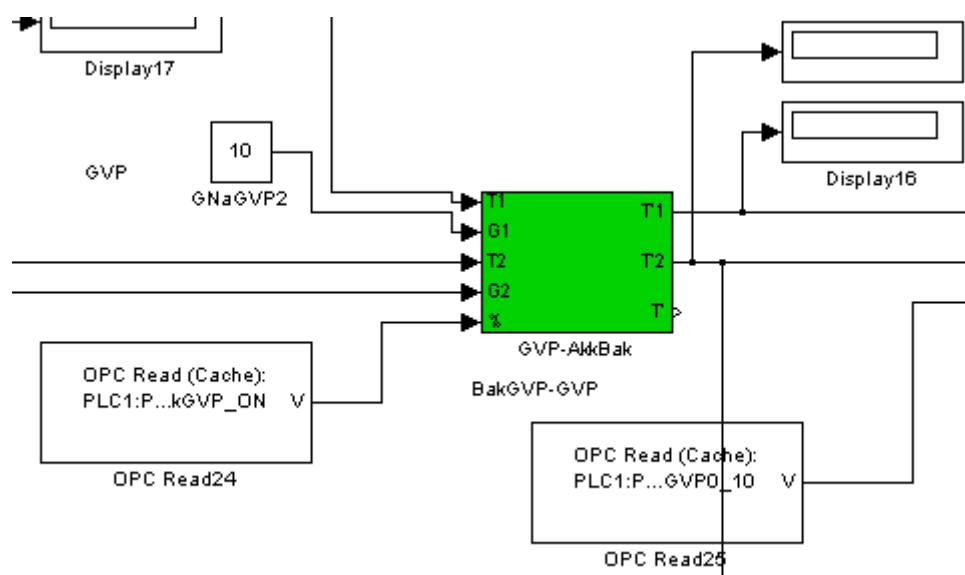


Рис.7.16 Відбір теплоти з системи опалення.

В нічну частину доби сонячний колектор не в змозі нагріти воду до необхідного рівня, тому здійснюється відбір теплоти від системи опалення. Клапани відкриваються і потужність циркуляційного насосу збільшується пропорційно до збільшеної витрати теплоносія.

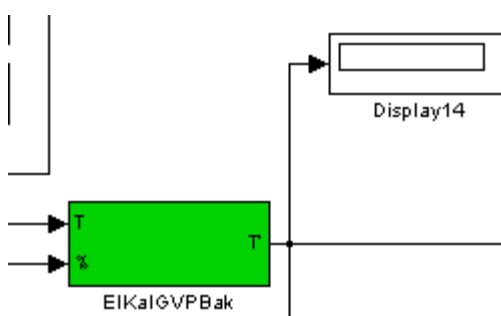


Рис.7.17 ТЕН системи ГВП.

Температуру води в баку ГВП також підтримує ТЕН. Реалізація його моделі аналогічна до ТЕН в акумуляторному баку з різницею в потужності.

## Підживлення води ГВП

Система ГВП являється відкритою, тому одним з основних параметрів є рівень води в баку ГВП. При його пониженні нижче норми відбувається відкриття клапана підпитки. Водночас це вносить збурення на температуру води в баку, оскільки підживлення здійснюється водою з мережі.

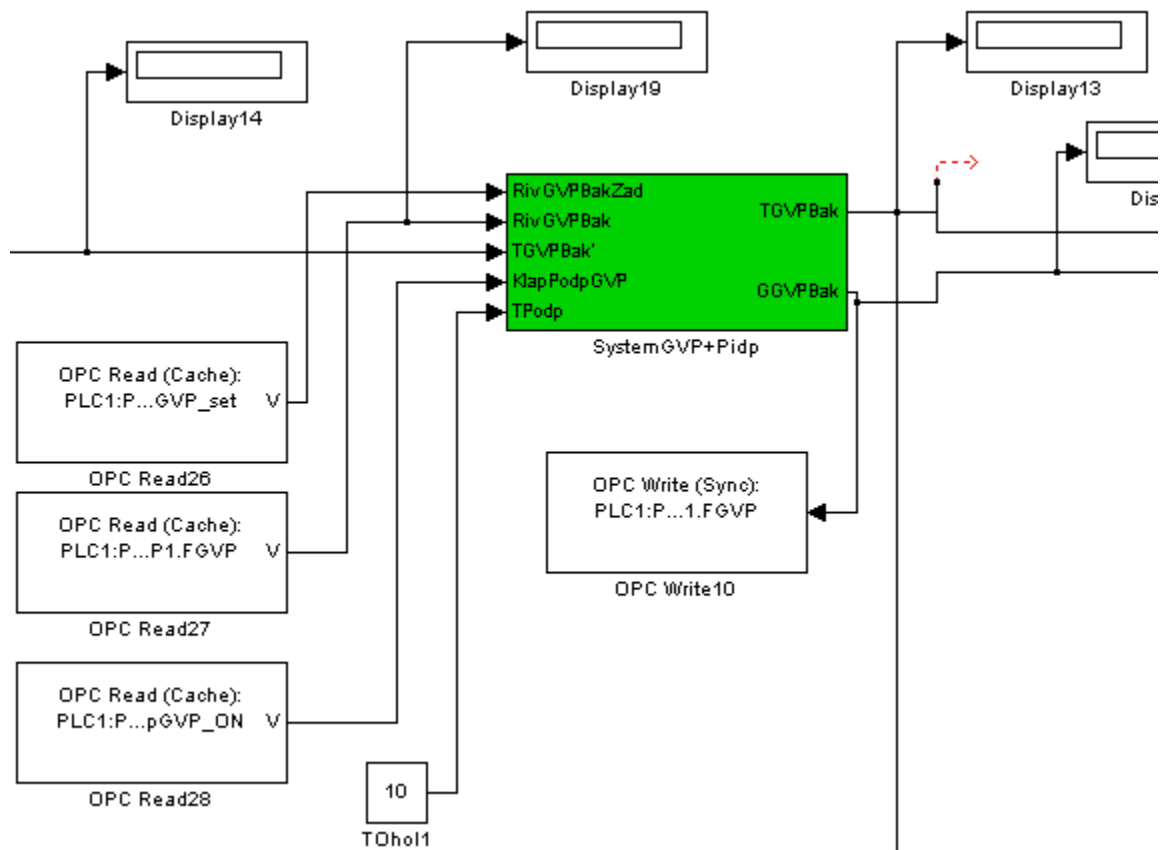


Рис.7.18 підживлення системи ГВП.

Даний блок враховує вплив води підживлення на температуру води в баку.

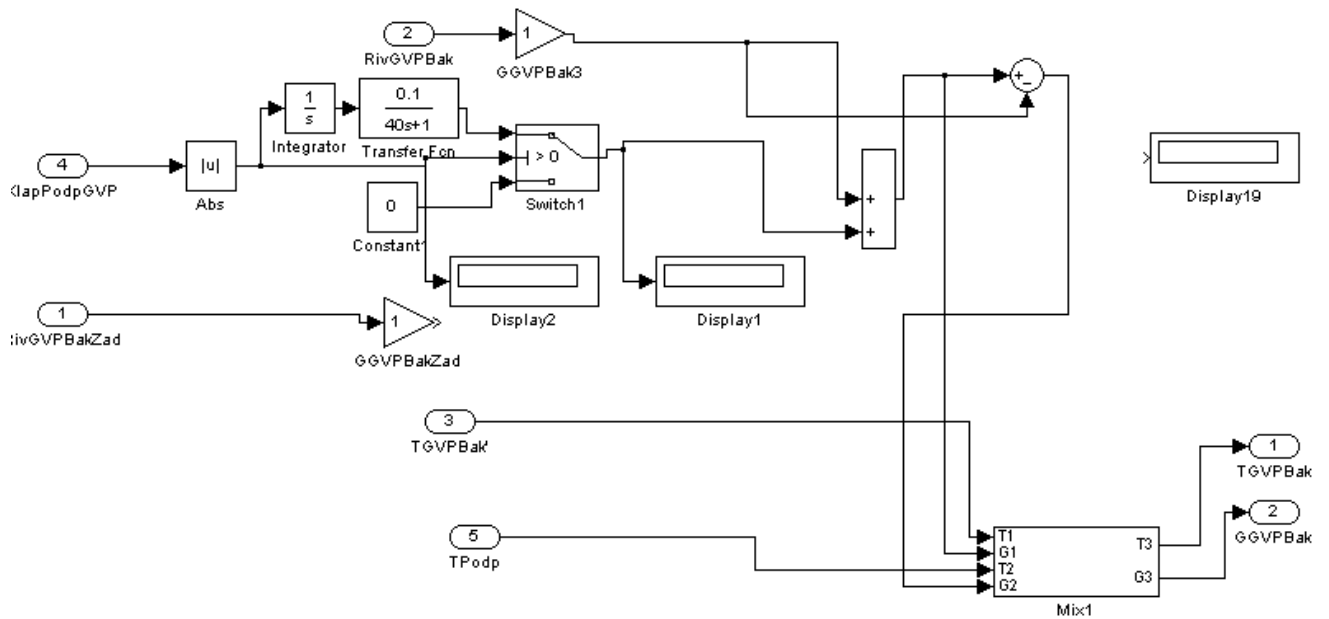


Рис.7.19 Підживлення системи ГВП.

Відбувається зміна як температури, так і витрати в системі.

Імітація витрати води в системі ГВП

Даний блок імітує випадкові збурення на систему у вигляді відбору води з системи.

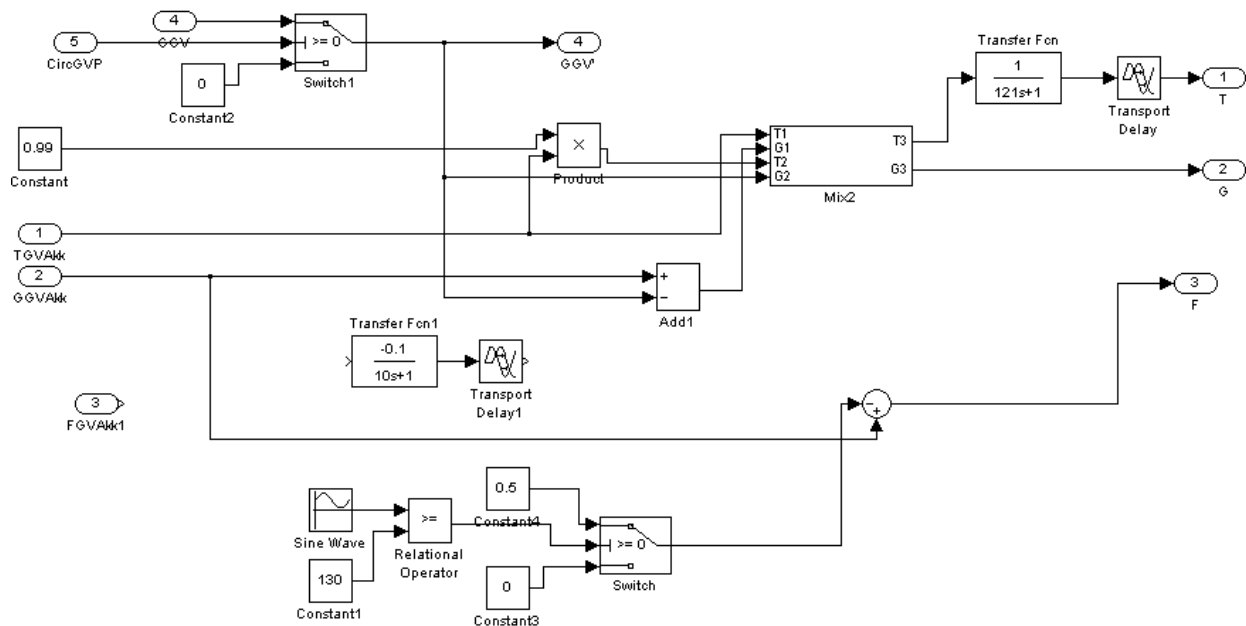


Рис.7.20 Витрата води в системі ГВП.

Сумарний блок температури повітря в приміщенні

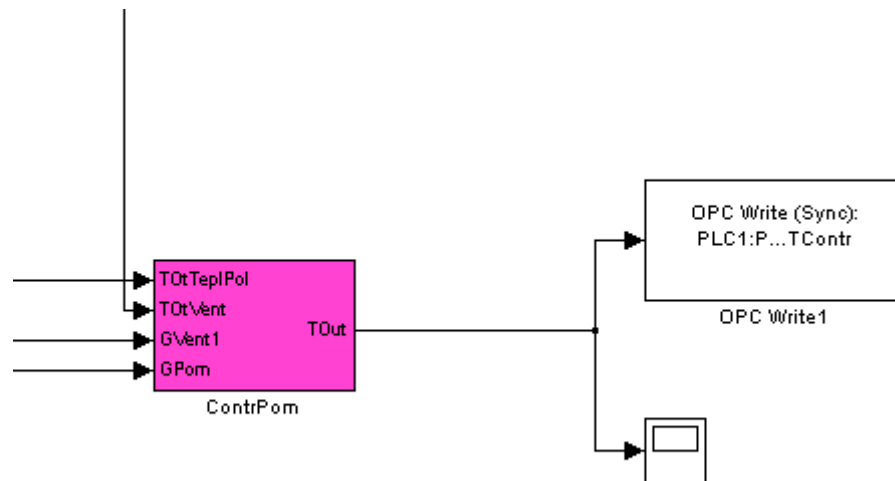


Рис.7.21 Температура повітря в приміщенні.

Даний блок моделює зміну температури повітря в приміщенні під впливом нагріву від теплої підлоги і від вентиляції повітря. При цьому враховується також втрата теплоти з повітрям, що видаляється з приміщення. Теплонадходження від побутових приладів і сонячної конвекції не враховуються.

## **РОЗДІЛ 8 РОЗРОБКА СТАРТАПУ**

### **8.1 Резюме стартап - проекту**

**Тема:** Система регулювання мікроклімату в приміщенні.

**Ціль:** Розроблення мобільного додатку, сайту для перегляду та управління системою регулювання мікроклімату.

**Проблематика, що вирішуються:**

- Економічність використання енергії;
- Доступ до системи через мережу інтернет

**Програмний продукт:**

Розроблення програмного продукту буде виконуватись з використання мови програмування C# та JavaScript. У програмі буде реалізовано зручний інтерфейс для перегляду та керування показниками мікроклімату в приміщенні. Оповіщення на телефон при будь-яких аварій, попереджень з вибором можливих дій, планування зміни параметрів.

**Команда проекту:**

- керівник проекту;
- developers;
- дизайнер;
- тестувальники;
- аналітики;
- бухгалтер.

**Витрати:**

1. Оренда приміщення.
2. Заробітні плати.
3. Просування продукту на ринку.
4. Оформлення юридичних та реєстраційних документів.
5. Організаційні витрати.
6. Обладнання.

### **Рішення:**

- Слідкування за процесом в реальному часу;
- Архівація даних;
- Оповіщення при непередбачених ситуацій;

### **Інвестиції:**

Сума інвестицій 700 000 грн. (при реалізації проекту протягом 10 - ти місяців).

## **8.2 Організаційний план**

### **Команда проекту:**

- Головний організатор
- developers;
- дизайнер;
- тестувальники;
- аналітики;
- бухгалтер.

**Головний організатор** – відповідальний за успішність проекту. Роздає і перевіряє виконання завдань команди. Вирішує розподілення фінансів.

**Developers** – відповідальні за програмну розробку сайту та мобільного додатку, за коректне відображення сайту в різних браузерах та пристроях.

**Дизайнер** – відповідальний за розробку макет сайту і мобільного додатка, оновлення дизайну на протязі всієї роботи проекту.

**Тестувальники** – відповідальний перевірку правильності роботи програмного забезпечення при можливих різних ситуацій.

**Аналітики** – відповідальні за комунікацію з клієнтами та обговорення, що має входити до програмного забезпечення продукту.

**Бухгалтер** – відповідальний за фінанси, зарплати та оплати.



### 8.3 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

#### 1. Маркетингова концепція продукту

Для початку сформуємо маркетингову концепцію продукту, який отримає споживач, див табл. 8.1.

Табл. 8.1 Маркетингова концепція продукту

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Сповіщення користувача при виявленні проблем	Розроблення програмного продукту, який дозволяє оповістити користувача на телефон	Оповіщення з можливими варіантами вибору дій.
2	Слідкування за процесом в реальному часі	Програмний продукт пропонує простий та зрозумілий інтерфейс (спрямований на користувачів будь якого віку) з підказками кожного пункту меню та меню пошуку.	Спрощений, зручний інтерфейс. Використання на будь-якому пристрої.
3	Обмежений доступ	Програмний продукт дозволяє налаштувати систему з обмеженим доступом для уникнення проблем.	Налаштування для обмеження доступу до пунктів, які відповідають за керування системою.

## 2. Маркетингова модель продукту

Далі наведена розроблена трирівнева маркетингова модель товару з ідеєю продукту, його складовими та особливостями процесу його надання (див. Табл. 8.2).

Табл. 8.2 Маркетингова модель продукту

Рівні продукту	Сутність та складові	
I. Продукт за задумом	Функціонал програми ділиться на декілька частин: безкоштовна і платна. Придбавши платний продукт, покупець отримує повний доступ до всіх можливостей програмного продукту, а також підписується на оновлення програмного продукту у період дії ліцензії. При платному продукті можлива розробка під особливі потреби клієнта.	
II. Продукт у реальному виконанні	Програмний продукт у веб-версії та Desktop-версії	
	Якість:	Планується створити якісну програму, що витіснить конкурентів через простоту використання та кроссплатформеність продукту.
	Дизайн:	За задумом планується реалізувати версії програми з дизайном максимально зрозумілим для користувача з іконками та засобами, що моментально передають сенс дії.
III. Продукт із підкріпленням	До продажу користувачу надається можливість тимчасового користування (15 днів) для одного девайсу з можливістю використання більшої частини функцій.	
	Після покупки платного акаунту користувач отримує повний доступ до програмного продукту (на термін дії ліцензії) без обмежень функцій користувача. Також клієнт автоматично підписується на оновлення	

	програмного продукту. В платному акаунті можна буде необхідні додаткові можливості, які запропонує клієнт.
Продукт буде програмно захищено від копіювання та злому.	

### 3. Визначення цінових меж

Далі визначенні цінові межі, якими будемо керуватись при встановленні ціни на потенційний продукт, але остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту.

Табл. 8.3 Межі встановлення ціни

Рівень цін на продукти-замінники	Рівень цін на продукти-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на продукт/послугу
Немає	Від 50 000 \$	700 000 \$/рік	Від 20 000 \$

## 8.4 Фінансовий план

### Бюджет прямих витрат на виробництво продукції

Показник	Вид товарної продукції
1) План виробництва продукції, шт.	1
2) Норма витрати праці на проект, люд/год	0,0127
3) Всього витрат праці, год	29800
4) Оплата праці, грн	200
5) Всього витрат на оплату, грн	497840
6) Загальні витрати на оплату праці	497840

### Бюджет собівартості виготовлення продукції

Показник	Вид товарної продукції
1) План виробництва, шт	1
2) Витрати на матеріали, грн	156070
3) Витрати на оплату праці, грн	497840
4) Загальновиробничі витрати, грн	497840
5) Разом витрат на виробництво, грн	653910
6) Виробнича вартість 1 тов, грн	653910

### Бюджет собівартості реалізованої продукції

Показник	Вид товарної продукції
1) Собівартість виробництва, грн	653910
2) Затрати на підтримку платформи, грн	40000
3) Собівартість реалізованої продукції, грн	693910

### Бюджет про прибутки та збитки підприємства

Показник	Вид товарної продукції
1) Обсяг продажу (планова виручка), грн	1000000
2) Собівартість реалізованої продукції, грн	693910
3) Валовий прибуток (збиток), грн	306090
4) Адміністративні витрати, грн	14000
5) Витрати на збут, грн	34500
6) Фінансовий результат на опадаткування, грн	257590
7) Податок на прибуток (18%)	46366
8) Чистий прибуток (збиток), грн	259724

## 8.5 Юридичний план

Юридичною формою організації є приватне підприємство ПП "JSGuru projects" є юридичною особою і діє на основі Статуту підприємства, має власне майно, розрахунковий рахунок та шукає інвесторів для своїх проектів.

Для успішного ведення підприємницької діяльності надзвичайно важлива наявність досвідчених фахівців . Знання основних принципів та технологій .Net C# та JavaScript відіграють ключову роль у процесі розробки високоякісних програмних продуктів.

Характеристика працівників:

Керівник проекту - досвідчений фахівець у бізнесі, інженер-програміст. Добре знає справу постачання і збуту. Широко обізнаний у сфері програмування, добре знає основні принципи та підходи до розробки проектів. Бухгалтер веде усю фінансову діяльність підприємства: розрахунок доходів, нарахування і сплата податків, розподіл прибутку, нарахування амортизації, розрахунок і видачу заробітної плати.

Усі інші працівники найматимуться на роботу відповідно до обов'язків, які вони виконуватимуть. Всі працівники знаходитимуться під безпосереднім керівництвом керівника проекту.

## 8.6 Оцінка ризиків проекту

Для даного проекту найбільш небезпечними є такі види ризиків:

1. Помилки при складанні плану проекту;
2. Ризик, пов'язаний з нестабільністю економічного законодавства та поточної економічної ситуації, умов інвестування та використання прибутку;
3. Ризик не якості продукту і недотримання вимог;
4. Ризик звільнення ключових робітників;
5. Ризик недостатньої кваліфікації персоналу;
6. Виробничо – технологічний ризик, що пов'язаний з вибором правильної технології виконання проекту;
7. Форс – мажорні ризики.

Проблема управління ризиками є надзвичайно важливою, адже виникає на всіх етапах діяльності підприємства. Більше того, поняття ризику визначається залежно від сфери застосування, і саме в проектній діяльності виникають найрізноманітніші види ризиків.

До головних напрямів мінімізації вказаних ризиків при реалізації проекту можна віднести:

- потрібно передбачити резерви бюджету в межах 5 – 15 % вартості проекту, що дозволить здійснювати виділення асигнувань для виявлених і раніше не передбачуваних робіт за проектом;
- при розрахунку очікуваних техніко – економічних показників проекту доцільно врахувати можливі варіанти розвитку проекту, оскільки, можуть виникати як очікувані та бажані, так і передбачені, але негативні результати впровадження проекту;
- здійснювати детальний аналіз при відборі персоналу;
- враховувати різноманітні сценарії розвитку несприятливих ситуацій.

Для старту проекту мають бути залучені 700 тис. грн інвестицій з наступними умовами: інвестиції отримуються за рахунок передачі 10% акцій компанії.

## ВИСНОВОК

Під час виконання була розроблена і досліджена система регулювання мікроклімату в умовах комбінованої генерації енергії. Головною метою створення системи з комбінованою генерацією енергії для підвищення ефективності та ресурсозбереження. Це дозволяє домогтися збільшення ефективності та економічності при створенні комфортного клімату в приміщеннях будівлі. Було досліджені існуючі рішення з використанням енергозберігаючих технологій, а саме використання в системі відновлювальних джерел енергії.

Найважливішими перевагами відновлюваної енергетики є: невичерпність енергоресурсів, екологічна чистота, відсутність паливної складової у вартості виробленої енергії, як правило, велика надійність, термін служби і менші витрати на експлуатацію енергетичного обладнання.

Був проведений розрахунок параметрів регулятора. Була поставлена задача досягти якомога меншого перерегулювання, тому розрахунок проводився трьома методами: аперіодичним інженерним експрес методом, методом РАФХ і методом з 20% перерегулювання. Метод РАФХ показав більш оптимальні результати. Потім була обрахована передаточна функція компенсатора для компенсації збурення. Перехідний процес при оптимальних параметрах налаштування регулятора відповідає вимогам, поставленим до якості регулювання. Також була проведена перевірка САР на чутливість, яка показала, що дана САР є чутливою до зміни параметрів об'єкту.

Була розроблена імітаційна модель системи теплопостачання та кондиціонування створена в середовищі MatLab для можливості безпосередньої перевірки працездатності програмного забезпечення локального і супервізорного рівня без необхідності роботи з реальним обладнанням. До моделі висувались вимоги достатньої точності відображення перехідних процесів, що відбуваються



в системі при збереженні допустимої простоти для зменшення обчислювального навантаження.

Були проведені розрахунки вимірювальних каналів та надійності функціонування, які показали відповідність спроектованої системи поставленим вимогам. Для візуальної ілюстрації розроблено: структурна схема ПТКЗА, схема функціональна автоматизації.

Для реалізації супервізорного рівня використовувалося програмне забезпечення фірми Siemens, що є дуже зручним і зрозумілим для використання і забезпечує поставленим вимогам до візуалізації системи керування.

Також був розроблений стартап проект, що представляє собою реалізацію мобільного додатку, сайту для перегляду та управлінню системою регулювання мікроклімату

В цілому, розроблена система відповідає всім поставленим вимогам та може бути впроваджена в експлуатацію.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Чистович С.А., Аверьянов В.К., Темпель Ю.Я., Быков С. И. Автоматизированные системы теплоснабжения и отопления. – Ленинград. Стройиздат, 1987.
2. Клюев А.С., Глазов Б.В., Дубровский А.Х. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. - М., Энергия 1980г.
3. Ротач В. Я. Расчет динамики промышленных автоматических систем регулирования. М., "Энергия", 1973.
4. Ротач В.Я. Теория автоматического управления. – «МЭИ», 2008 – 396 с.
6. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кривенкова С.В., и др. Расчет ресурсов солнечной энергетики. – М.: Изд-во МЭИ, 1998. – 60 с.
7. Алексеев В.В. и др. Перспективы развития альтернативной энергетики и ее воздействие на окружающую среду. – М. – Кацивели: Изд-во МГУ, НАН Украины, Морской гидрофизич. ин-т, 1999. – 152 с.
8. Принципові схеми [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.meibes.ua/galereya/princzipialnyie-sxemyi.html>
9. Федянин В .Я. Расчет баланса энергоавтономного дома / В.Я. Федянин, М.А. Утемесов, В.В. Чертищев // Теплоэнергетика. 1999. - №2. - С. 1620.
10. Федянин В.Я. Возможности использования возобновляемых источников энергии для создания комфортных условий в быту / В.Я. Федянин, В.В. Чертищев. — Барнаул : Изд-во Алт. ун-та, 2003. 66 с.
11. Системы солнечного тепло- и хладоснабжения / под ред. Э.В. Сарнацкого, С.А. Чистовича. М. : Стройиздат, 1990. - 325 с.
12. Валов М.И. Использование солнечной энергии в системах теплоснабжения / М.И. Валов, Б.И. Казанджан. — М. : Изд-во МЭИ, 1991. — 140 с.
13. Бекман У. Расчет систем солнечного теплоснабжения / У. Бекман, С. Клейн, Дж. Даффи. М. : Энергоатомиздат, 1982. - 137 с.
14. ГОСТ 28310-89. Коллекторы солнечные. Общие технические условия. — М. : Изд-во стандартов, 1990. 16 с.

15. Уонг Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров : справочник. М. : Атомиздат, 1979. - 216 с.